

**THÈSES**  
**présentées**  
**A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE DIJON**  
**pour obtenir**  
**LE GRADE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR**  
**par G. DELEUZE Ingénieur Agronome**

1ère THESE - Aspects scientifiques et technologiques de la méthode de surgélation des plats cuisinés à l'azote liquide.

2ème THESE - Propositions données par la Faculté.

soutenues le 15 Juillet 1964 devant la Commission d'examen

MM. CLEMENT ..... Président

BARON }  
REY } ..... Examineurs



**THÈSES**  
**présentées**  
**A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE DIJON**  
**pour obtenir**  
**LE GRADE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR**  
  
**par G. DELEUZE Ingénieur Agronome**

- 1ère THESE - Aspects scientifiques et technologiques de la méthode de surgélation des plats cuisinés à l'azote liquide.  
2ème THESE - Propositions données par la Faculté.

soutenues le 15 Juillet 1964 devant la Commission d'examen

MM. CLEMENT ..... Président  
BARON }  
REY } ..... Examineurs



FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE DIJON

Doyen

M. CIRY Raymond

Assesseur

M. LAGRANGE François

Professeurs Titulaires

MM. DECOMBE Jean  
D'ORGEVAL DUBOUCHET Bernard  
BOUCHARD Jean  
ARNAL Claude  
HUSSON Roger  
TIROUFLET Jean  
MARIOT Louis  
ARBAULT Jean  
BARRET Pierre  
CLEMENT Guy  
BARON Christian  
NOIROT Charles

Professeurs à titre personnel

MM. AMIOT Raymond  
RAT Pierre

Professeurs sans chaire

MM. VERNIER Pierre  
CHAUDONNERET Jean  
BUGNON François  
REY Louis  
MANGIN Jean-Philippe  
Mlle BULARD Camille

Maîtres de Conférences

Mme WATELLE Ginette  
MM. PIGEAUD Pierre  
MORET-BAILLY Jacques  
CACHON Pierre  
HANEN Albert  
FOURNARI Pierre  
GODEFROY Lucien

Professeur Honoraire

M. DENIS Robert

Doyen Honoraire

M. SIMON Georges



- Qu'il nous soit permis d'exprimer à Monsieur G. CAMBOIS, Chef du Département Transport à AIR FRANCE, notre profonde reconnaissance pour l'aide efficace et amicale qu'il n'a cessé de nous prodiguer, et pour avoir bien voulu autoriser ce travail.
  - A chaque étape de cette étude, Monsieur le professeur L. REY nous a guidé, conseillé, et fait largement profiter de son expérience scientifique; nous lui en disons ici notre gratitude.
  - Que Messieurs les professeurs CLEMENT et BARON acceptent nos sincères remerciements pour l'accueil qu'ils nous ont réservé et l'honneur qu'il nous ont fait en acceptant de faire partie de notre jury.
  - Nous remercions également Monsieur BEDANE, Chef du Service d'Armement et de Ravitaillement Hôtelier d'AIR FRANCE, et Monsieur MAZOYER, Chef du Service des Applications Agricoles de l'Air Liquide pour l'aide efficace et amicale qu'ils nous ont apportée.
  - Notre reconnaissance s'adresse aussi à Monsieur MOREL, Chef des Cuisines d'AIR FRANCE, sans oublier Madame DUMONT et le concours aimable du laboratoire de l'I.S.H.
-



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41548204\\_0007](https://archive.org/details/IA41548204_0007)

## I N T R O D U C T I O N

Cette étude sur la surgélation des plats cuisinés à AIR FRANCE a eu pour but de mettre au point une technique et une méthode permettant d'apporter au Transport Aérien une plus grande souplesse dans l'exploitation, des conditions économiques meilleures et une plus grande constance dans la qualité et la présentation des prestations servies à bord des avions quelles que soient les escales où ils s'avitailent.

Certaines Compagnies ont systématisé la fourniture des prestations surgelées même au départ des escales les mieux pourvues, se contentant d'utiliser les méthodes classiques du commerce.

Le propos d'AIR FRANCE, qui jouit d'une renommée incontestable sur le plan culinaire, a été d'améliorer la technique de la surgélation en l'adaptant aux traditions de la gastronomie et aux conditions du Transport Aérien.

Mais, compte tenu que l'industrie des plats cuisinés surgelés s'est contentée jusqu'à ce jour d'utiliser une technique du froid mise au point pour les produits alimentaires en général, et que cette technique ne nous paraît pas apporter des garanties suffisantes sur le plan de la qualité, nous nous sommes attachés à ce qu'il soit procédé à un travail d'ensemble traitant de la surgélation des plats cuisinés dans ses rapports avec la physico-chimie des produits traités, leur caractérisation organoleptique et les conditions industrielles de leur mise en oeuvre et de leur exploitation.

L'intention d'AIR FRANCE n'est pas de faire de la surgélation un système, mais d'en user à bon escient chaque fois que les conditions d'exploitation dans certaines escales de son Réseau seront telles que la mise à bord d'un plat surgelé sera préférable à celle d'un plat frais.



# SOMMAIRE

|                                                               | Pages |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| PREMIERE PARTIE : LES BASES DU PROBLEME ET LA METHODE D'ETUDE | 1     |
| A.- LES TECHNIQUES EN PRESENCE                                | 1     |
| 1°.- La technique culinaire                                   | 1     |
| 2°.- La technique de la surgélation                           | 4     |
| a) la congélation                                             | 4     |
| b) la conservation                                            | 4     |
| c) le transport                                               | 4     |
| d) le réchauffage                                             | 4     |
| B.- LA METHODE D'ETUDE                                        | 4     |
| 1°.- Essais de laboratoire                                    | 4     |
| 2°.- Conception et mise en oeuvre d'une chaîne expérimentale  | 5     |
| 3°.- Contrôle de la qualité par des tests organoleptiques     | 5     |
| DEUXIEME PARTIE : DU LABORATOIRE A LA CHAÎNE EXPERIMENTALE    | 6     |
| Chapitre I - Les ETUDES DE LABORATOIRE                        | 6     |
| 1°.- Rappel de notions fondamentales                          | 6     |
| a) cristallisation de l'eau                                   | 6     |
| b) cristallisation des solutions salines                      | 7     |
| c) cristallisation des solutions complexes                    | 7     |



|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 2°.- <u>Mesures de résistivité</u> .....                             | 8  |
| a) principe .....                                                    | 8  |
| b) résultats.....                                                    | 8  |
| 3°.- <u>Mesures d'analyse thermique différentielle</u> .....         | 8  |
| a) principe .....                                                    | 8  |
| b) résultats .....                                                   | 8  |
| 4°.- <u>Conclusions théoriques</u> .....                             | 12 |
| <u>Chapitre II - MISE EN OEUVRE DE LA CHAÎNE EXPERIMENTALE</u> ..... | 15 |
| A.- <u>DESCRIPTION</u> .....                                         | 15 |
| 1°.- <u>L'emballage des plats cuisinés</u> .....                     | 15 |
| 2°.- <u>La manutention des plats cuisinés</u> .....                  | 18 |
| 3°.- <u>Les mesures de températures</u> .....                        | 18 |
| B.- <u>LA CONGELATION</u> .....                                      | 20 |
| 1°.- <u>Aspects technologiques</u> .....                             | 20 |
| a) le fonctionnement mixte du congélateur .....                      | 20 |
| b) les mesures de températures dans le congélateur .....             | 22 |
| c) la rampe d'aspersion d'azote liquide .....                        | 22 |
| d) les ventilateurs .....                                            | 22 |
| e) mesures de débits d'azote liquide .....                           | 24 |
| 2°.- <u>Caractéristiques frigorifiques de la congélation</u> .....   | 25 |
| a) Besoins théoriques en frigories .....                             | 25 |
| b) Possibilités d'apport de frigories .....                          | 27 |
| c) Bilan frigorifique d'une congélation .....                        | 29 |
| 3°.- <u>Etude du transfert de chaleur</u> .....                      | 31 |
| a) anisotropie thermométrique de l'enceinte froide .....             | 31 |
| b) transfert de chaleur dans les produits .....                      | 31 |

.../



|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| C.- <u>LA CONSERVATION</u> .....                                       | 40 |
| 1°.- <u>Aspects technologiques</u> .....                               | 40 |
| a) le fonctionnement des conservateurs .....                           | 40 |
| b) les mesures de température dans les conservateurs .....             | 42 |
| c) les rampes d'aspersion d'azote liquide .....                        | 42 |
| d) les accidents de fonctionnement .....                               | 42 |
| e) les variations de température dans les conservateurs .....          | 43 |
| f) le givrage dans les conservateurs .....                             | 46 |
| 2°.- <u>Bilan frigorifique des conservateurs</u> .....                 | 46 |
| a) fonctionnement avec les relais temporisés .....                     | 46 |
| b) fonctionnement sans les relais temporisés .....                     | 49 |
| 3°.- <u>Conditions de conservation</u> .....                           | 50 |
| D.- <u>LE TRANSPORT</u> .....                                          | 51 |
| 1°.- <u>Les données du problème</u> .....                              | 51 |
| a) la température d'embarquement .....                                 | 51 |
| b) les conditions du transport .....                                   | 52 |
| c) la conservation en escale .....                                     | 53 |
| 2°.- <u>Conception et réalisation de containers de transport</u> ..... | 53 |
| a) généralités .....                                                   | 53 |
| b) réalisation de prototype .....                                      | 54 |
| 3°.- <u>Essais au sol</u> .....                                        | 56 |
| a) résultats .....                                                     | 56 |
| b) conclusions .....                                                   | 62 |
| 4°.- <u>Essais en vol</u> .....                                        | 63 |
| a) l'évolution thermique .....                                         | 63 |
| b) l'évolution du degré hygrométrique .....                            | 68 |



|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| E.- <u>LE RECHAUFFAGE</u> .....                                                      | 68 |
| 1°.- <u>Le dégel</u> .....                                                           | 70 |
| a) dégel lent en température ambiante .....                                          | 70 |
| b) dégel lent en ambiance réfrigérée .....                                           | 70 |
| c) dégel rapide dans le four .....                                                   | 70 |
| 2°.- <u>Le réchauffage proprement dit</u> .....                                      | 71 |
| a) réchauffage en ambiance humide .....                                              | 71 |
| b) réchauffage infra-rouge .....                                                     | 71 |
| 3°.- <u>Les fours</u> .....                                                          | 71 |
| a) les fours électroniques .....                                                     | 71 |
| - rappel de notions fondamentales .....                                              | 71 |
| - description .....                                                                  | 73 |
| - résultats .....                                                                    | 75 |
| b) les fours Boeing .....                                                            | 76 |
| - description .....                                                                  | 76 |
| - résultats .....                                                                    | 79 |
| F.- <u>CONCLUSIONS</u> .....                                                         | 82 |
| <br>Chapitre III - <u>CONTROLE DE LA QUALITE PAR DES TESTS ORGANOLEPTIQUES</u> ..... | 84 |
| A.- <u>ORGANISATION DE TESTS ORGANOLEPTIQUES</u> .....                               | 84 |
| 1°.- <u>Les méthodes générales d'étude</u> .....                                     | 84 |
| 2°.- <u>Le choix d'une méthode</u> .....                                             | 86 |
| a) le jury .....                                                                     | 86 |
| b) les séances de dégustation .....                                                  | 86 |
| c) les fiches de dégustation .....                                                   | 86 |



|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| B.- INFLUENCE DE LA CONGELATION .....                              | 89 |
| 1°.- Les phénomènes en jeu .....                                   | 89 |
| 2°.- Résultats .....                                               | 89 |
| 3°.- Conclusions .....                                             | 90 |
| C.- INFLUENCE DE LA CONSERVATION .....                             | 90 |
| 1°.- Les phénomènes en jeu .....                                   | 90 |
| 2°.- Résultats .....                                               | 90 |
| 3°.- Conclusions .....                                             | 92 |
| D. INFLUENCE DU RECHAUFFAGE .....                                  | 93 |
| 1°.- Vitesse de réchauffage .....                                  | 93 |
| 2°.- Cas des plats en sauce : réchauffage en ambiance humide ..... | 93 |
| 3°.- Cas des grillades : réchauffage infra rouge .....             | 94 |
| E.- INCIDENCES SUR LA TECHNIQUE CULINAIRE .....                    | 94 |
| 1°.- Cuisson des viandes rouges .....                              | 94 |
| 2°.- Liaison des sauces .....                                      | 95 |
| a) les principaux modes de liaison .....                           | 95 |
| b) les liaisons en surgélation .....                               | 96 |
| 3°.- Préparation des légumes .....                                 | 97 |
| 4°.- Liste des plats retenus .....                                 | 97 |
| F.- CONCLUSIONS .....                                              | 98 |

### TROISIEME PARTIE - /L'EXPLOITATION DE LA SURGELATION/

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| A.- CONCEPTION D'UNE CHAÎNE D'EXPLOITATION .....                   | 99  |
| 1°.- La 1re phase d'exploitation .....                             | 99  |
| a) aspects quantitatifs .....                                      | 99  |
| b) aspects qualitatifs .....                                       | 100 |
| c) aspects économiques .....                                       | 100 |
| 2°.- Le plan d'extension .....                                     | 101 |
| B.- REALISATION DE LA 1RE PHASE D'EXPLOITATION .....               | 101 |
| C.- LE TRANSPORT .....                                             | 103 |
| D.- PROGRAMME DE MISE EN PLACE ET DE DIFFUSION SUR LE RESEAU ..... | 105 |
| E.- LE RECHAUFFAGE .....                                           | 111 |

### CONCLUSIONS GENERALES



## PREMIERE PARTIE

### LES BASES DU PROBLEME ET LA METHODE D'ETUDE

---

L'étude qui a été entreprise consistait, en partant des données connues concernant la surgélation des denrées alimentaires cuites, à déterminer les conditions optima pour obtenir des prestations surgelées d'une qualité irréprochable à la consommation.

En effet, les plats surgelés selon les méthodes classiques à - 40° C et conservées à - 18° C n'offrent pas toujours la garantie de qualité et de conservation optimum.

Partant du principe que, plus on surgèle bas et plus on surgèle vite, les denrées se présentent mieux à la consommation, nous avons cherché en employant des méthodes nouvelles, à démontrer l'exactitude de cette théorie.

Les professionnels du SERVICE D'ARMEMENT et de RAVITAILLEMENT HOTELIER D'AIR FRANCE chargés de préparer les denrées consommées à bord des avions d'AIR FRANCE ayant une expérience éprouvée des techniques culinaires et, en plus, de la restauration aérienne, nous avons pensé qu'en y associant les techniques frigorifiques, nous pouvions avoir un banc d'essai incomparable pour mener à bien ces expériences.

C'est pourquoi, une équipe composée :

- d'un Ingénieur de l'Institut National agronomique,
- d'un Chef de cuisine,

a été placée sous l'autorité de M. le Professeur REY qui a bien voulu accepter de diriger nos recherches sur ce point, Monsieur REY, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon étant spécialiste en Cryobiologie.

Cette équipe avait pour mission de faire des essais sur des denrées alimentaires cuites très différentes, en employant en laboratoire des méthodes permettant des surgélations à basse température.

#### A.- LES TECHNIQUES EN PRESENCE

##### 1°.- La Technique culinaire

Il ne s'agit pas, bien sûr, d'exposer une théorie de la cuisine, mais simplement de définir certaines données empiriques de l'art culinaire et de la cuisine " classique ".

Dans l'esprit de cette cuisine, il ne suffit pas qu'un plat cuisiné soit bon, il faut encore qu'il corresponde à une présentation et à un goût bien déterminés.

.../



Le premier postulat de cette étude fut donc d'obtenir, après un traitement frigorifique le mieux adapté, un plat cuisiné qui respecte, sans restrictions, les traditions de l'art culinaire.

Un plat cuisiné n'est pas le résultat de la juxtaposition d'une viande (ou d'un poisson), d'une sauce et d'une garniture. Il représente un ensemble complexe, hétérogène au début de sa préparation et qui forme un tout en fin de cuisson.

La cuisson assemble des éléments dissemblables pour leur donner un goût qui doit toujours être identique pour des palais de fins dégustateurs ; ainsi le goût d'un poulet ne sera pas du tout le même suivant qu'il sera préparé au vin de Bourgogne ou au Champagne.

D'un point de vue physico-chimique, il paraît anormal de mélanger des dextrines, des alcools et des acides gras; le rôle du cuisinier sera justement de déterminer dans quelles conditions et dans quelles proportions ces divers composants pourront s'assembler et se compléter après avoir participé ensemble à la cuisson.

En particulier, au cours de la cuisson, l'amidon contenu dans la farine, se transformera en dextrines solubles qui joueront le rôle "d'agent de liaison". Cette solubilité et cette liaison seront influencées suivant qu'il y aura des alcools et des acides gras dans la composition des sauces.

Tenant compte de ces données, nous avons procédé à la sélection d'un certain nombre de plats classiques parmi la gamme extrêmement variée à la disposition de Chefs de cuisine expérimentés.

Nous avons retenu une trentaine de plats à base de viande rouge, de viande blanche, de volaille, de gibier et de poisson. Sans les citer tous, voici quelques recettes caractéristiques qui ont été choisies :

- Tournedos Rossini
- Tournedos sauté Duroc
- Filet de boeuf limousin
- Côte d'agneau pommes sarladaises
- Côte de mouton Champvallon
- Médailon de veau Zingara
- Côte de veau Colmarienne
- Longe de veau Savoyarde
- Longe de veau Monselet
- Coq au vin
- Caneeton au vin vieux de Bourgogne
- Poulet en cocotte Bonne femme
- Poulet sauté au Champagne
- Râble de lièvre sauce poivrée
- Civet de lièvre
- Salmis de faisan
- Perdreau en cocotte
- Homard à l'Armoricaine
- Filet de sole Air France
- Filet de sole meunière
- Saumon braisé au Riesling

.../



Chaque plat a fait l'objet d'une fiche de fabrication donnant au gramme près les différents composants et ingrédients le constituant, permettant ainsi quel que soit le Chef de cuisine, de laisser le minimum d'initiative, pour pouvoir procéder à des comparaisons valables. L'exemple ci-dessous montre la composition de ces fiches :

## COQ AU VIN MAITRE BERTRAND

| Temps de cuisson | Eléments utilisés                   | Poids unitaire |       | Volume   | Qualité commerciale |
|------------------|-------------------------------------|----------------|-------|----------|---------------------|
|                  |                                     | Net            | cuit  |          |                     |
| 35'              | Poulet (aile)                       | 0,150          | 0,112 |          |                     |
|                  | Poulet (cuisse)                     | 0,165          | 0,130 |          | Nantais             |
|                  | Beurre                              | 0,008          |       |          | Extra des charentes |
|                  | Sel                                 | 0,0015         |       |          | Socose1             |
|                  | Poivre                              | 0,0005         |       |          | en grains du moulin |
|                  | Petits oignons                      | 0,025          |       |          | grelots dorés       |
|                  | Petits lardons                      | 0,025          |       |          | Lard maigre 1/2 sel |
|                  | Champignons                         | 0,040          |       |          | Paris - moyens      |
|                  | Farine                              | 0,005          |       |          | Pur blé             |
|                  | Vin rouge                           |                |       | 8 cl     | Supérieur 13° 5     |
|                  | Armagnac                            |                |       | 0 cl 875 | 40°                 |
|                  | Ail                                 |                |       |          |                     |
|                  | Bouquet garni, thym, laurier persil |                |       |          |                     |
|                  | Fond brun                           |                |       | 3 cl     |                     |

Poulet coupé en quatre. Parer les deux ailes et les deux cuisses.

Petits oignons et petits lardons blanchis, égouttés et revenus au beurre dans un sautoir. Ajouter les morceaux de poulet et les champignons coupés en quartiers à cru (coloration du tout). Ajouter ensuite l'ail haché, faire revenir 1 à 2 min. Enlever le beurre de cuisson, flamber à l'armagnac, ajouter le vin rouge et le bouquet garni. Laisser cuire (voir temps de cuisson). Le poulet cuit, retirer le bouquet garni et lier la sauce avec un beurre en pommade mélangé à la farine.



Les fiches des 46 plats ayant fait l'objet de l'expérimentation sont jointes en annexe.

## 2°.- La Technique de la surgélation

Cette technique comprend les opérations suivantes :

La surgélation permettant d'obtenir un état de rigidité tel qu'il entraîne un blocage complet de réactions chimiques, enzymatiques, bactériologiques.

La conservation maintenant l'état de rigidité obtenu lors de la surgélation.

Le transport prévu de façon telle que ces denrées soient maintenues dans une chaîne de froid à même température, quelle que soit la durée et les conditions dans lesquelles il s'effectue.

Le dégel consistant à ramener ces denrées surgelées à une température positive et, suivant le cas, dans l'air ambiant ou par action artificielle.

Le réchauffage devant amener ces denrées à une température de consommation en tenant compte des effets de cuisson complémentaire.

## B.- LA METHODE D'ETUDE

La méthode d'étude a consisté :

- à faire des essais en laboratoire,
- à concevoir et à mettre en oeuvre un atelier d'expérimentation,
- à contrôler la qualité des denrées surgelées à consommer par des tests organoleptiques.

### 1°.- Essais de laboratoire

Il est nécessaire pour aborder le problème, de connaître les réactions des denrées alimentaires et, en particulier, des plats cuisinés à basse température.

Des essais ont donc été entrepris dans les laboratoires ROUSSEL, spécialisés dans la surgélation et la conservation des tissus vivants, en utilisant tous les appareils de mesure mis à notre disposition.

Ces mesures ont consisté notamment à déterminer pour une série de plats :

- la température :
  - . de cristallisation totale
  - . de fusion commençante.



## 2°.- Conception et mise en oeuvre d'une chaîne expérimentale

Pour explorer le domaine des basses températures et pour jouir d'une grande souplesse dans l'exploitation d'une chaîne expérimentale, il a été fait appel aux gaz liquéfiés et en particulier à l'azote liquide, gaz neutre, dont la température d'ébullition est de  $-196^{\circ}$  Celsius.

### a) Congélateur

La congélateur a été alimenté par un compresseur permettant d'atteindre une température de  $-60^{\circ}$  C (alors que les congélateurs du commerce ne produisent que  $-40^{\circ}$  C) et a été équipé d'une rampe d'aspersion d'azote liquide permettant une post-surgélation à  $-196^{\circ}$  C si cela était nécessaire.

La compression était utilisée en premier stade pour fournir à bas prix les frigorifiques correspondant à la chaleur latente de cristallisation de l'eau, les produits alimentaires pouvant être composés de 60 à 90 % d'eau.

### b) Conservateurs

Il a été mis en place dans la chaîne expérimentale :

- un conservateur du commerce produisant une température de  $-18^{\circ}$  C ( $0^{\circ}$  Fahrenheit).
- deux conservateurs d'une conception simple et d'une exploitation très souple.

Ce sont des cuves isolées constituées en mousse de polystyrène revêtue de polyester et équipées de rampes d'aspersion d'azote liquide.

L'apport de froid est destiné à compenser les rentrées de chaleur par les parois. Des thermostats permettent de régler la température ambiante de ces containers entre  $0^{\circ}$  C et  $-196^{\circ}$  C.

### c) Containers de transport

Un certain nombre de containers de transport ont été conçus soit par les Services d'AIR FRANCE, soit par des maisons spécialisées du commerce, pour transporter dans les meilleures conditions de volume et de poids, ces denrées.

### d) Fours de réchauffage

Un certain nombre de fours de conceptions très différentes ont été utilisés comparativement aux fours utilisés sur les Boeing, afin de nous mettre d'une part dans les conditions actuelles de réchauffage à bord et d'autre part, dans celles qu'il serait souhaitable d'envisager pour des transports beaucoup plus rapides (cas du supersonique).

## 3°.- Tests organoleptiques

Pour pouvoir juger de l'influence du traitement frigorifique tant à la surgélation qu'à la conservation, sur la qualité finale des denrées surgelées, des tests organoleptiques ont été organisés, consistant à procéder à des dégustations pour permettre d'apprécier toutes les qualités que doit conserver un plat à la consommation :

- présentation
- structure
- saveur
- odeur
- couleur



## DEUXIEME PARTIE

### DU LABORATOIRE A LA CHAÎNE EXPERIMENTALE

---

#### CHAPITRE I - LES ETUDES DE LABORATOIRE

##### 1°.- RAPPEL DE NOTIONS FONDAMENTALES (L. REY<sup>1</sup>)

###### a) Cristallisation de l'eau

L'eau pure reste à l'état liquide jusqu'à la température de 0° C sous une pression de 760 mm de mercure par définition puisque c'est un repère de l'échelle thermométrique Celsius.

A 0° C, en présence de germes cristallins, l'eau se congèle avec libération de chaleur pour donner de la glace.

La taille des cristaux de glace dépend essentiellement de la vitesse de la congélation. Si la congélation est lente, peu de centres cristallins se forment et les cristaux sont très gros et irréguliers. Au contraire, si la congélation est brusque, il se forme de très nombreux germes et les cristaux sont très petits. Il y a lieu, en effet, de distinguer dans le processus de cristallisation, deux stades différents :

- la nucléation qui consiste en l'apparition de germes cristallins,
- la cristallisation proprement dite qui correspond à la phase d'accroissement des centres germinatifs.

Ces deux phénomènes sont généralement indépendants et n'ont pas toujours le même optimum thermique.

Dans certaines conditions enfin, lorsque la température est abaissée très rapidement et très bas, il n'y a pas de cristallisation et l'eau donne naissance à un verre : il y a vitrification. C'est ce qui se produit quand on condense de la vapeur d'eau sur une plaque métallique maintenue à la température de l'azote liquide.

.../



## b) Cristallisation des solutions salines

Au sein des tissus animaux et végétaux, l'eau se trouve mêlée à des sels minéraux et à des substances organiques qui provoquent des changements importants dans les phénomènes de cristallisation.

La présence de sels dans l'eau agit sur deux phénomènes :

### - la forme de la cristallisation

Lorsque l'on refroidit une solution aqueuse de chlorure de sodium à  $10^{\circ}/^{\circ}$  (c'est-à-dire proche de la solution isotonique dans les tissus vivants), les premiers cristaux de glace apparaissent vers  $- 0,5^{\circ}$  C (abaissement cryoscopique) puis la cristallisation progresse et la glace continue à se séparer à l'état pur. Au fur et à mesure que ces cristaux s'accroissent, la phase liquide interstitielle diminue en même temps que sa concentration saline augmente. En dessous de  $- 6^{\circ}$  C, il y a 90% de glace et les 10% de solution qui restent contiennent  $100^{\circ}/^{\circ}$  de chlorure de sodium; la concentration en sel a déjà été multipliée par 10 et cela se poursuit jusque vers  $- 21^{\circ}$  C. A ce moment, il ne se sépare plus de glace et la solution interstitielle se congèle brutalement en donnant un mélange intime de cristaux de glace et de cristaux d'hydrate, mélange que l'on appelle l'entectique. La température correspondante,  $- 21,3^{\circ}$  C est la température d'entectie. Cette température varie en fonction de la nature des sels et de leur concentration. Chaque solution saline mérite donc une étude particulière.

### - la vitesse de cristallisation

Divers sels et groupes de sels ralentissent la vitesse de cristallisation (REY-DHAUSSY<sup>2</sup>). En particulier, certains corps organiques comme le glycérol peuvent abaisser de 50 fois la vitesse de cristallisation pour des concentrations de 5 à 10%.

## c) Cristallisation des solutions complexes.

L'eau et les sels minéraux ne sont pas les seuls constituants des produits alimentaires. Ceux-ci comportent en outre des constituants de poids moléculaire élevé, généralement colloïdaux.

### . La congélation agit :

- sur l'équilibre colloïdal et sur la stabilité physique
- sur l'équilibre colloïdal par l'intermédiaire de la concentration saline.

### . La nature du système colloïdal influe sur la forme de cristallisation.

Il existe donc une zone de températures dangereuses qu'il convient de franchir rapidement si l'on veut éviter les effets nocifs des hautes concentrations salines et les transformations irréversibles des phases colloïdales. Il est donc logique d'admettre qu'en dessous de la température à laquelle tout est devenu solide, il n'existe plus de danger d'altération possible.

La détermination des températures de cristallisation totale revêt donc une grande importance puisqu'elles constituent la borne supérieure de travail lors de la congélation.

De la même manière, il sera nécessaire de déterminer les températures où l'on constate un dégel dans la masse cristallisée. Si ces températures entectiques sont les mêmes lorsqu'il s'agit de solutions salines simples, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de solutions biologiques complexes.



La détermination des températures de fusion commençante revêt donc également une grande importance puisqu'elles constituent la borne supérieure de travail lors de la conservation des produits congelés.

## 2°.- MESURES DE RESISTIVITE

### a) Principe

Parmi les méthodes dont on dispose pour mesurer la température de cristallisation totale, l'étude de la conductibilité électrique proposée par GREAVES est intéressante : on admet que le réseau capillaire formé par les liquides interstitiels dans la masse cristalline, est perméable au courant électrique. De même, lorsque la résistivité devient très élevée, on admet que tout est devenu solide. Le montage expérimental est celui de la figure 1.

### b) Résultats

L'analyse de la figure 2 montre la variation de la résistivité ( $\log. R$ ) en fonction de la température, tant à la congélation qu'au dégel d'un plat cuisiné comme le "coq au vin".

## 3°.- MESURES D'ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE

### a) Principe

Le principe de l'analyse thermique (L. REY <sup>3</sup>) déjà appliquée avec succès par VUILLARD (4) à des problèmes de chimie minérale, consiste à suivre l'évolution de la température du système étudié en fonction du temps principalement pendant la période de réchauffement. Les divers phénomènes thermodynamiques et structuraux se traduisent alors, sur la courbe de température, par des accidents caractéristiques.

L'analyse thermique différentielle consiste à étudier les variations de température qui se produisent au cours du réchauffage, entre le système étudié et un système de référence placé dans des conditions identiques.

Le montage expérimental est celui de la figure 3.

### b) Résultats

#### Premier exemple : coq au vin

La figure 4 montre qu'à partir de  $-51^{\circ} \text{C}$ , la courbe s'infléchit nettement vers le bas : la différence de température  $\Delta T$  entre la température de la sauce et la température de la glace augmente brusquement; c'est la caractéristique d'un phénomène exothermique, donc d'une fusion dans la sauce.

Il rentrait, dans la composition du coq au vin étudié 75 cl de vin à  $12^{\circ}$  pour 6 portions. La figure 5 montre que pour un coq au vin préparé avec 48 cl de vin à  $12^{\circ}$  pour 6 portions, la température de fusion commençante est seulement de  $-45^{\circ} \text{C}$ .

La présence d'alcool dans les sauces abaisse donc sensiblement la température de fusion commençante.





FIGURE 1 - Montage expérimental des mesures de résistivité.



## MESURES DE RESISTIVITE (20.11.62)

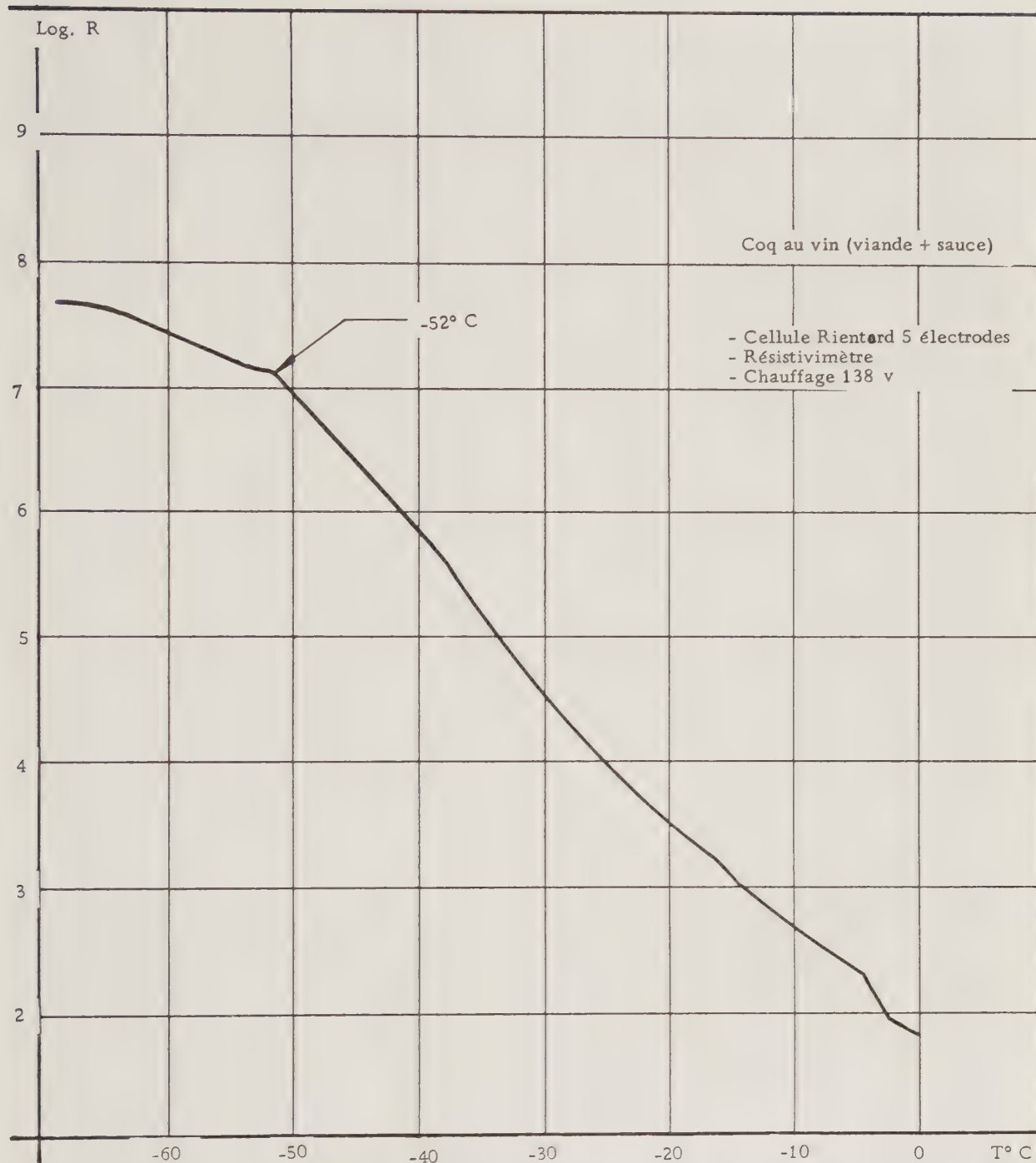


FIGURE 2



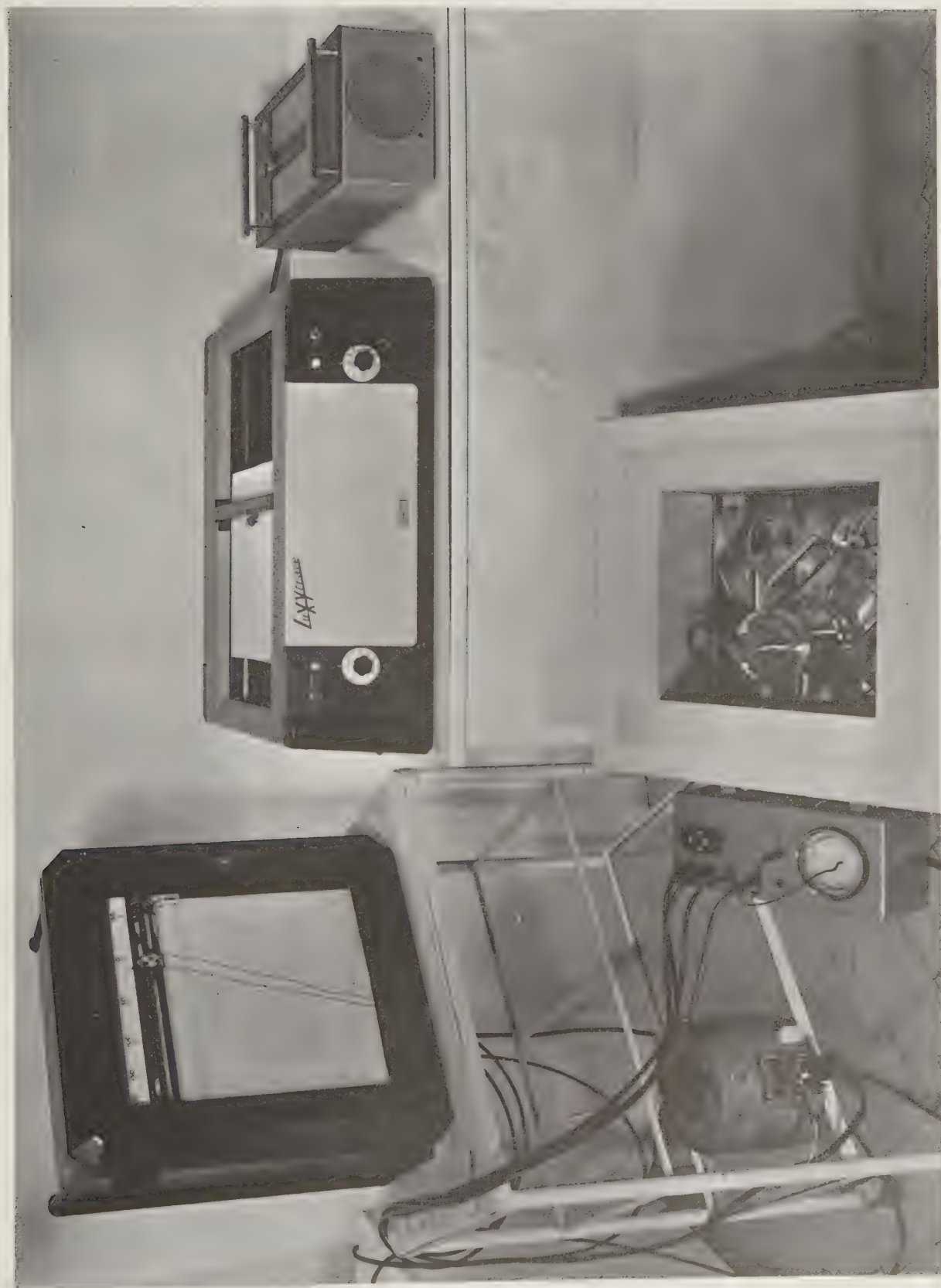


FIGURE 3 - Montage expérimental des mesures d'analyse thermique différentielle.



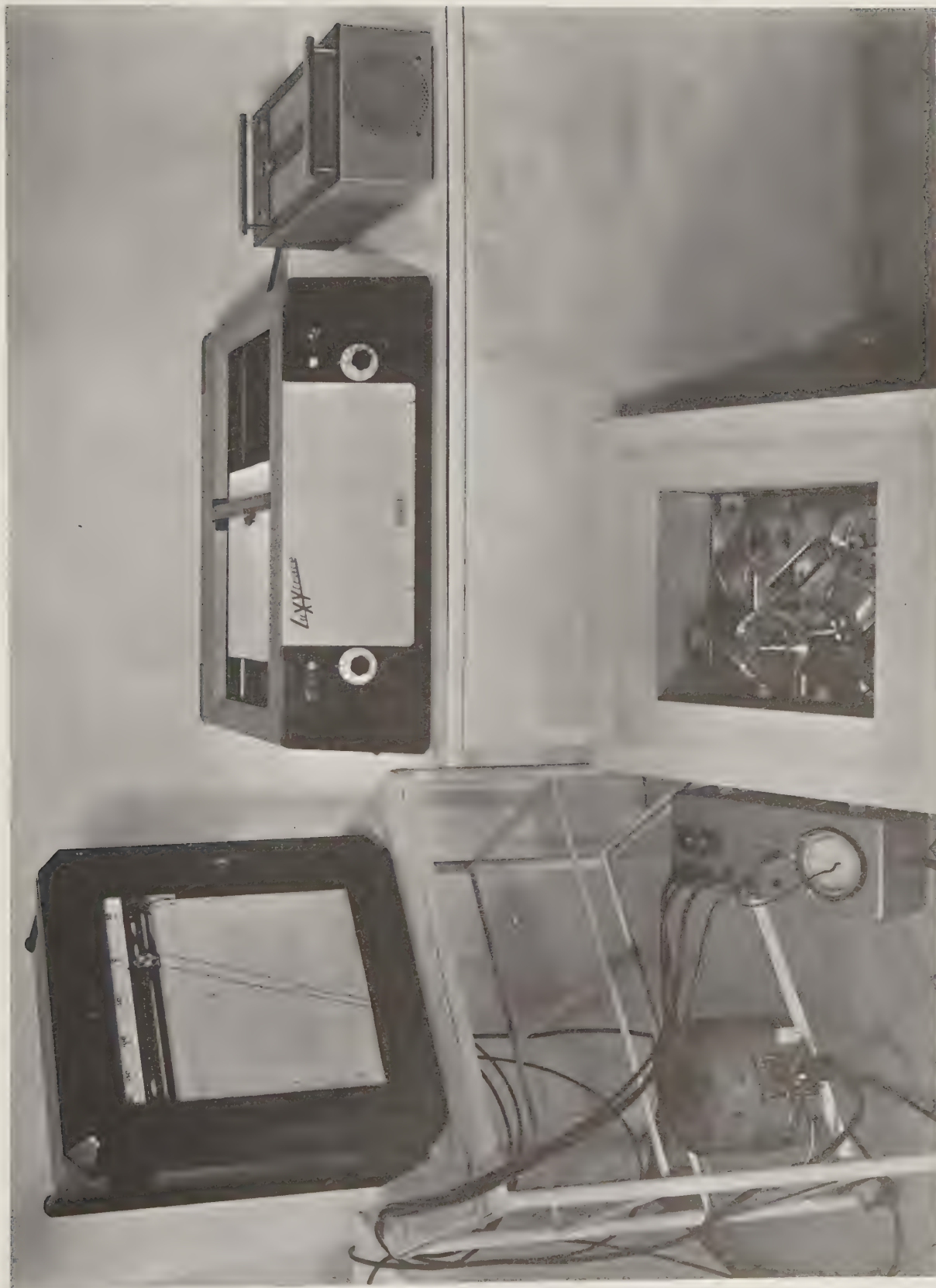


FIGURE 3 - Montage expérimental des mesures d'analyse thermique différentielle.



## MESURES D'ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE

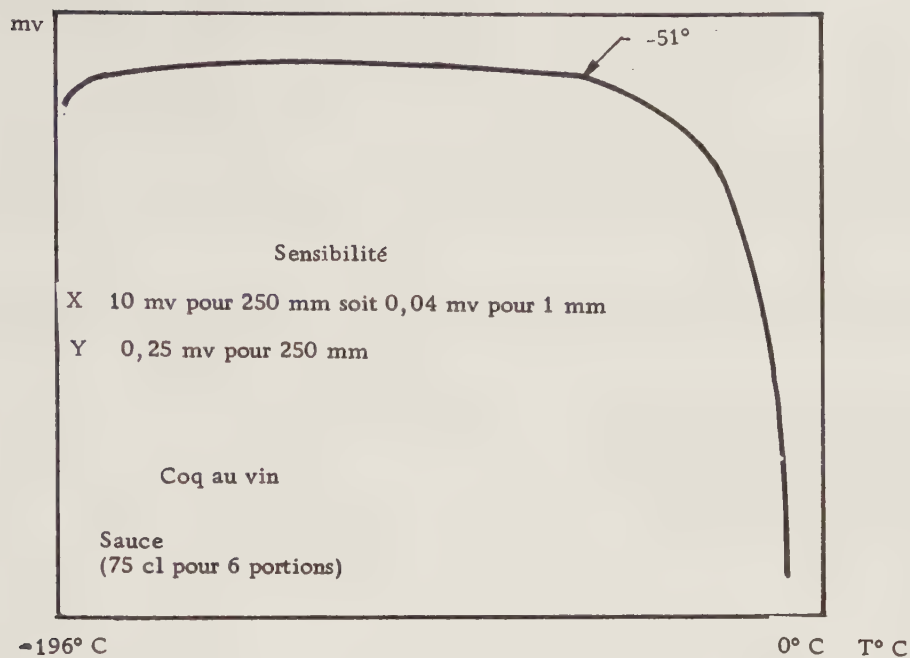


FIGURE 4

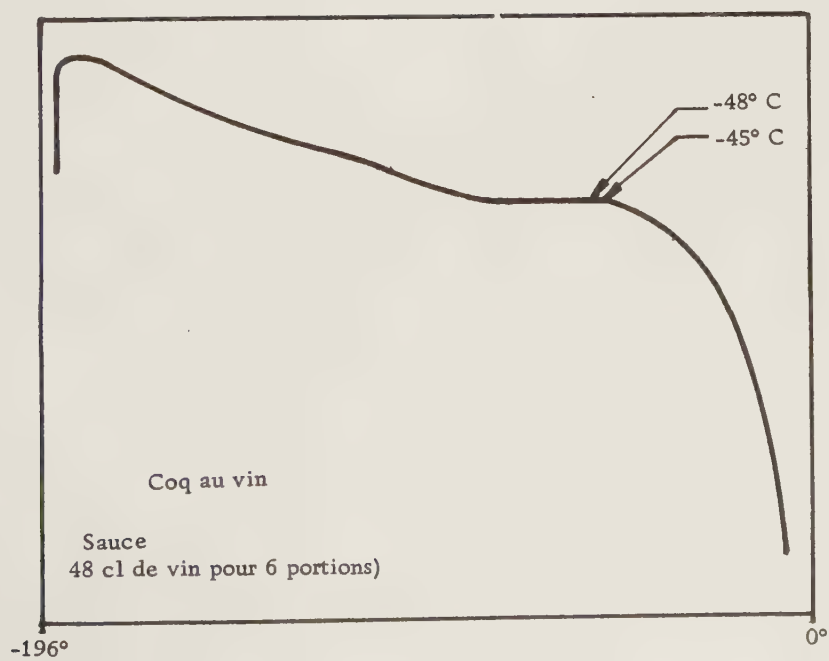


FIGURE 5



### Deuxième exemple : homard à l'Armoricaine

Pour la sauce, il y a un début de fusion vers - 47° C (figure 6) et pour la chair du homard, la fusion commence vers - 37,5° C (figure 7).

Cette température relativement basse pour la chair du homard s'explique par le fait que, lors de l'élaboration du plat, la chair du homard, préalablement flambée au Cognac, s'est ensuite imbibée de sauce pendant la cuisson.

Le tableau suivant donne, pour une série de 15 plats cuisinés, les températures de fusion commençante déterminées par des mesures d'analyse thermique différentielle :

| DESIGNATION DES PLATS                                                                        | Température de fusion commençante |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|
|                                                                                              | viande                            | sauce   |
| Salmis de faisan                                                                             | - 24°                             | - 49°   |
| Perdreau en cocotte                                                                          | - 24°                             | - 51°   |
| Civet de lièvre                                                                              | - 26°                             | - 38°   |
| Médailillon de veau vallée d'Auge ( 6 dl de crème fraîche pour 6 portions)                   | - 26,5°                           | - 50°   |
| Médailillon de veau vallée d'Auge ( 3 dl de crème fraîche + 3 dl de velouté pour 6 portions) | - 26,5°                           | - 52°   |
| Tournedos Rossini                                                                            | - 28°                             | -       |
| Filet de boeuf limousin                                                                      | - 28°                             | - 48°   |
| Tournedos sauté Duroc                                                                        | - 30°                             | -       |
| Côte de veau sautée Colmarienne                                                              | - 31°                             | -       |
| Homard à l'Américaine                                                                        | - 37,5°                           | - 47°   |
| Poulet en cocotte bonne femme                                                                | -                                 | - 41°   |
| Poulet sauté au Champagne                                                                    | -                                 | - 41,5° |
| Coq au vin (64cl. de vin pour 8 portions)                                                    | - 41°                             | - 45°   |
| Poulet de grain sauté à la niçoise                                                           | -                                 | - 49°   |
| Coq au vin (75 cl. de vin pour 6 portions)                                                   | - 41°                             | - 51°   |

#### 4°.- CONCLUSIONS THEORIQUES

##### - Température de cristallisation totale

La détermination des températures de cristallisation totale a montré que ces températures sont comprises entre - 50° C et - 70° C alors que dans les conditions habituellement admises de l'industrie de la surgélation, elles ne sont jamais descendues au-dessous de - 40° C.



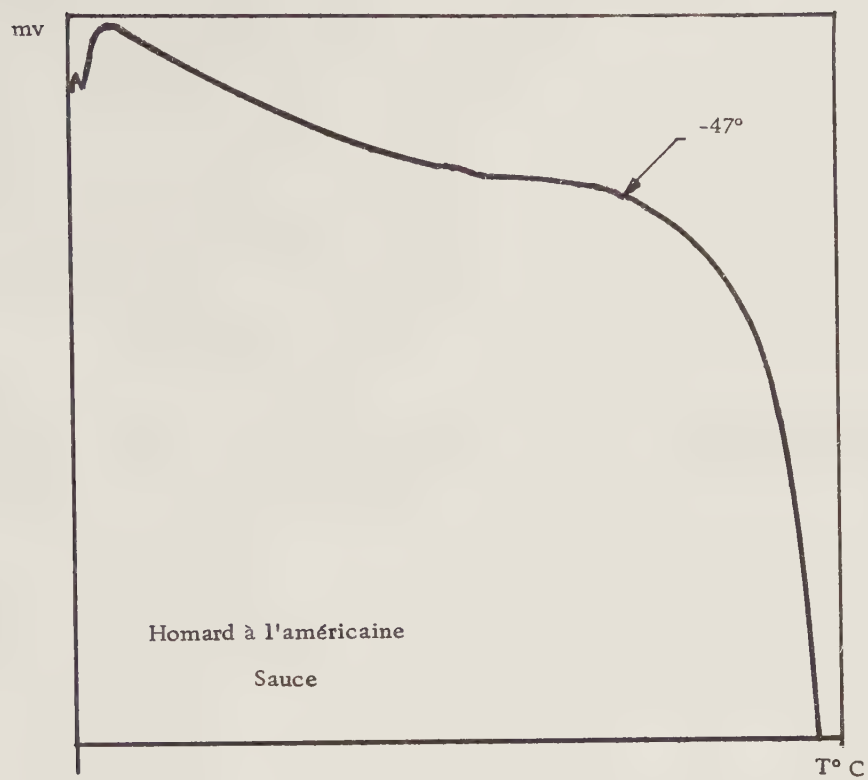


FIGURE 6

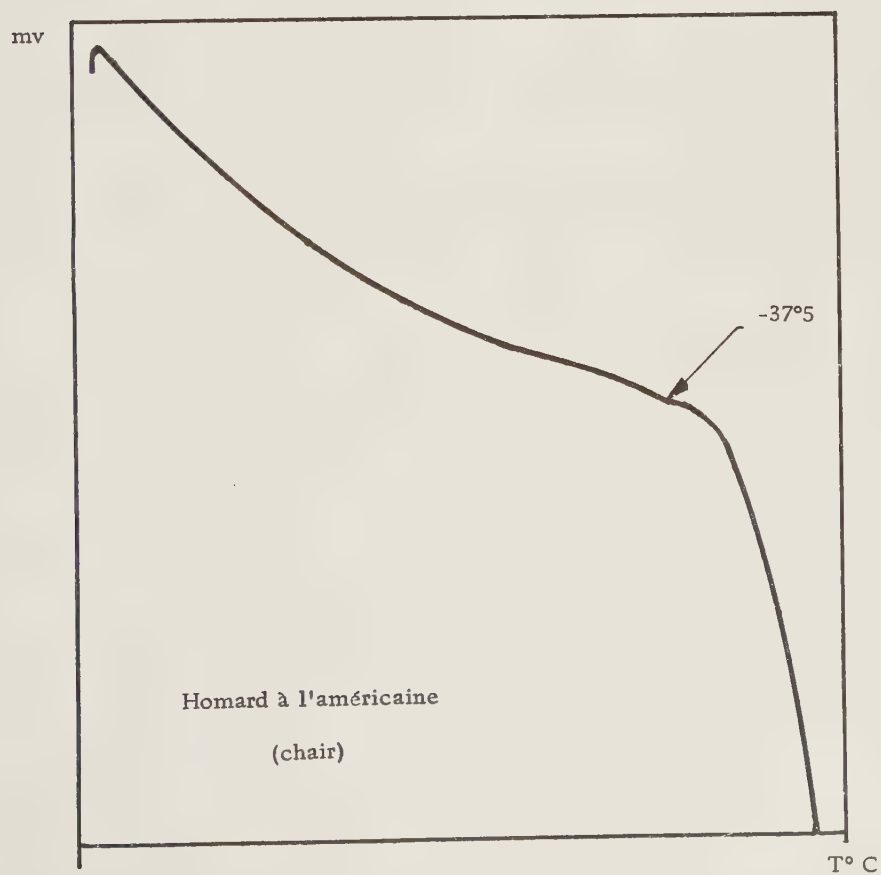


FIGURE 7



Elles dépendent :

- de la nature des produits
- des conditions de surgélation, c'est-à-dire :
  - o de la masse des produits
  - o de la vitesse de descente en température.

Il semble donc préférable de surgeler les denrées à  $- 70^{\circ}\text{C}$  pour être certain que dans tous les cas sera atteint un état de rigidité absolu, toute solution aqueuse ayant disparu, d'autant plus que les frigorifiques nécessaires pour aller jusqu'à basse température ne sont pas perdus mais récupérés dans les chambres de conservation à  $- 50^{\circ}\text{C}$ .

#### - Températures de fusion commençante

Les expériences faites sur des plats de compositions très diverses nous ont montré que ces températures oscillent :

- entre  $- 24^{\circ}\text{C}$  et  $- 41^{\circ}\text{C}$  pour les viandes
- entre  $- 38^{\circ}\text{C}$  et  $- 52^{\circ}\text{C}$  pour les sauces.

Contrairement aux résultats obtenus sur les températures de cristallisation totale, les températures de fusion commençante ne dépendent pas des conditions de surgélation telles que nous les avons énoncées ci-dessus, ni des conditions de réchauffage.

En effet, pour déterminer la température où la masse cristalline se transforme de nouveau en solution aqueuse, nous sommes partis de la température la plus basse ( $- 196^{\circ}\text{C}$ ) et, en procédant à un réchauffage progressif, l'appareil de mesure nous a donné la température où un début de fusion apparaissait.

Compte tenu de ces constatations, il nous semble préférable de conserver tous les plats cuisinés surgelés, quelle que soit leur composition, à une température ambiante de  $- 50^{\circ}\text{C}$  pour être certain que dans tous les cas un état de rigidité absolu sera maintenu.

.../



## CHAPITRE II - MISE EN OEUVRE DE LA CHAÎNE EXPERIMENTALE

Compte tenu de la conception que nous nous étions faite de cette chaîne, il a été procédé à sa réalisation avec la collaboration :

- des Services spécialisés de l'AIR LIQUIDE sous le contrôle de leurs ingénieurs,
- de la Société USIFROID spécialisée dans les équipements de surgélation et de lyophilisation des tissus vivants.

### A.- DESCRIPTION

L'implantation des différents équipements que nous avons conçus a été réalisée suivant le schéma ci-joint (figures 8 et 8 bis).

Nous verrons le détail de ces équipements dans chacun des paragraphes les concernant.

Il nous paraît cependant intéressant de donner quelques précisions sur :

- l'emballage des plats cuisinés
- la manutention des plats cuisinés
- les mesures de températures.

#### 1°.- L'emballage des plats cuisinés

Nous avons successivement essayé des contenants de matériaux différents : acier inoxydable, pyrex, porcelaine, polyéthylène basse pression et aluminium.

L'acier inoxydable, le pyrex et la porcelaine ont très bien tenu à la température de l'azote liquide, que ce soit lors d'une congélation par aspersion d'azote liquide, ou même lors d'une trempe dans l'azote liquide, la présentation étant cependant meilleure dans le pyrex et la porcelaine que dans l'acier inoxydable.

Ces trois matériaux étant trop lourds pour le transport (le contenant étant d'un poids égal ou supérieur au contenu), nous avons recherché des emballages légers, destinés seulement à la congélation, la conservation et le transport (les plats cuisinés étant finalement servis à bord dans les contenants habituels, en acier inoxydable ou en pyrex).

Le polyéthylène basse pression était intéressant car il permettait une fermeture facile du couvercle par thermosoudage; nous l'avons cependant éliminé pour les deux raisons suivantes :

- d'une part parce que nous avons constaté un vieillissement accéléré du polyéthylène aux basses températures, ce qui se traduisait par une légère desquamation en fines lamelles. Il était donc légitime de penser que ces lamelles pouvaient s'incorporer aux aliments et leur donner un certain goût.



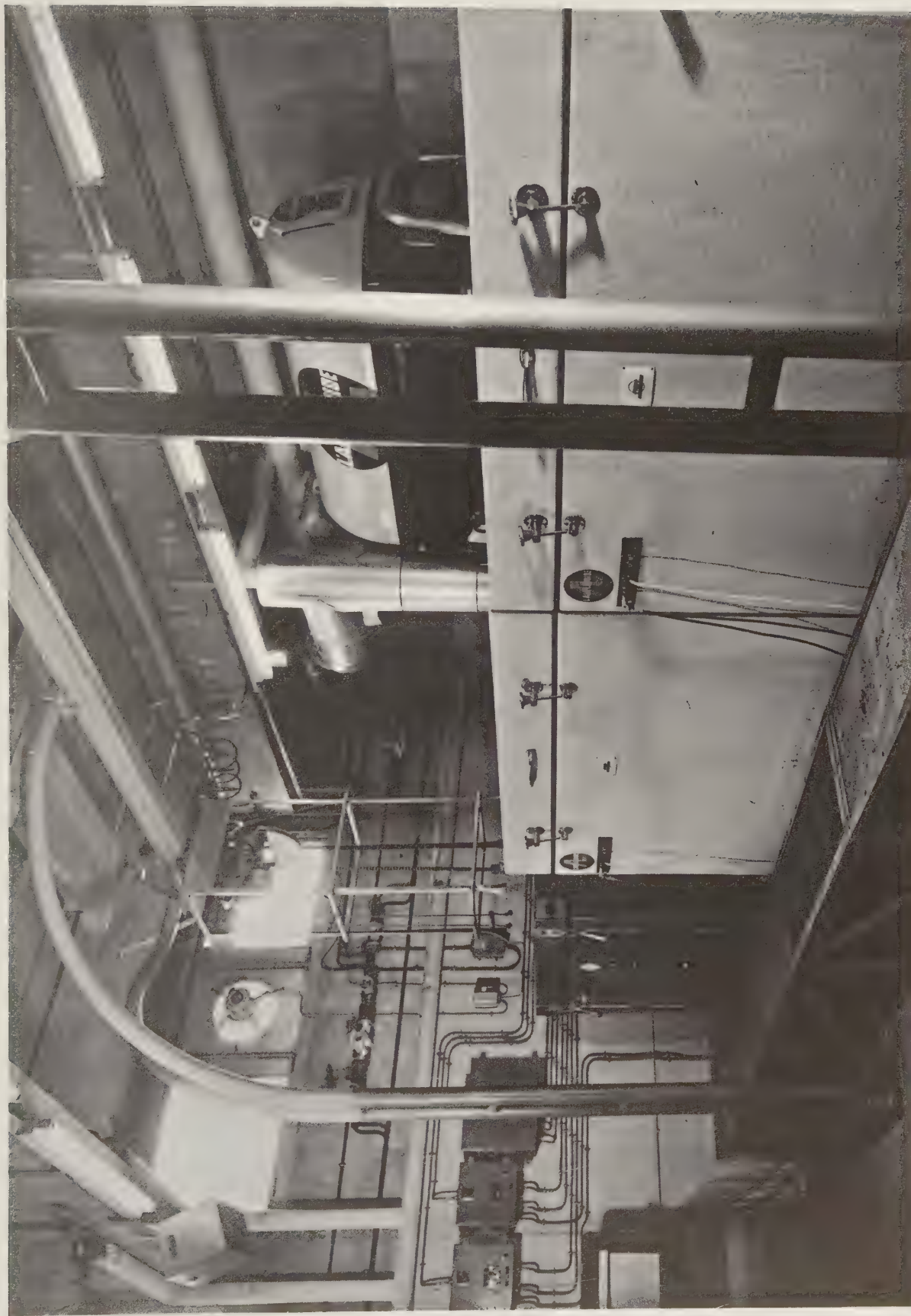
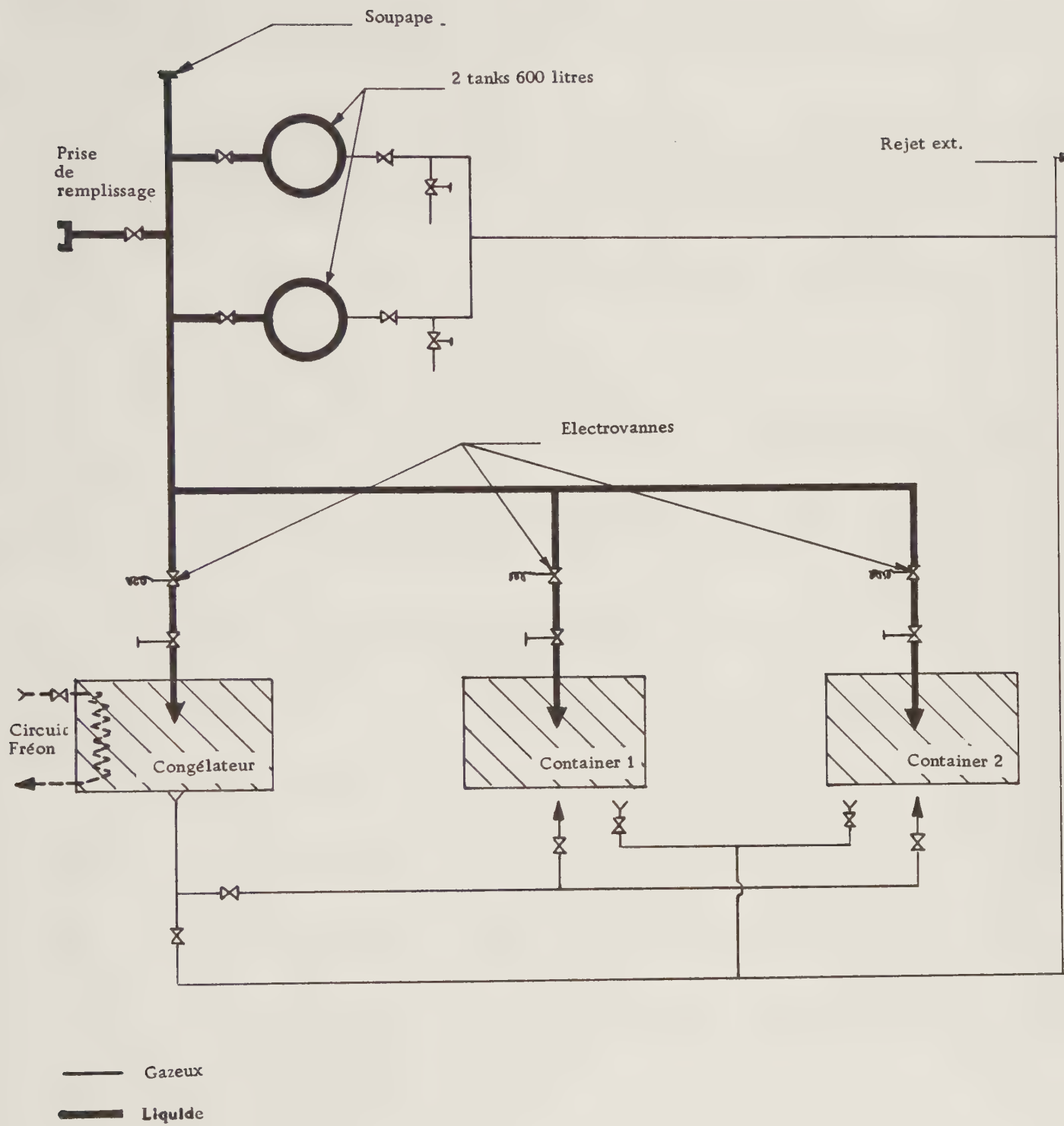


FIGURE 8 - IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX - On peut distinguer le congélateur, les conservateurs, un tank de 600 litres d'azote liquide, le potentiomètre enregistreur de températures et le dispositif de manutention.





SCHEMA DES CIRCUITS AZOTE

FIGURE 8



- d'autre part, la fermeture du couvercle par thermosoudage n'étant pas absolument parfaite dans tous les cas, nous avons observé que l'azote liquide pouvait pénétrer dans la casserole à l'état liquide lors de la congélation, puis se vaporiser lors de la conservation et faire ainsi éclater l'emballage en le déchirant.

L'aluminium restait donc le seul emballage léger qui puisse nous intéresser, n'ayant jamais constaté un goût qui aurait pu être laissé par l'aluminium lors des nombreuses dégustations que nous avons effectuées. L'aluminium présente l'inconvénient de ne pas offrir de fermeture étanche, mais comme nous travaillerons le plus souvent en atmosphère neutre d'azote, l'étanchéité de la fermeture n'est pas absolument indispensable.

Précisons enfin que les plats cuisinés sont présentés en casseroles individuelles pour la classe Touriste, et en plats four de 6 à 8 portions pour la première classe (figure 19).

## 2°.- La manutention des plats cuisinés dans la chaîne de froid.

Au-dessus du congélateur et des conservateurs, un palan peut se déplacer sur un monorail. Ce palan, alimenté électriquement, permet de prendre les paniers sur l'aire de chargement et de les déposer dans le congélateur ou dans les conservateurs.

Les paniers sont constitués par une armature tubulaire et peuvent recevoir des plateaux qui s'accrochent sur des barres transversales espacées de 3 cm. Chaque plateau constitué en métal ajouré ( 46,5 cm x 44,5 cm) peut recevoir :

- soit 4 plats four (27,5 cm x 21 cm)
- soit 9 casseroles carrées (13 cm x 13 cm)
- soit 12 casseroles rectangulaires (15cm x 10 cm)

Nous avons utilisé deux paniers en acier inoxydable et deux paniers en aluminium.

## 3°.- Les mesures de températures

Pendant les essais préalables en laboratoire, nous avons utilisé des thermomètres à résistance de platine, mais la température lue sur l'enregistreur était une température moyenne, intégrée d'une extrémité à l'autre de la sonde à résistance de platine.

Nous avons utilisé pour cette étude, des thermocouples Fer-Constantan, les températures étant lues sur un potentiomètre MECI à 6 directions (figure 9).

Le potentiomètre mesure la force électromotrice engendrée par un thermocouple et on sait que cette force électromotrice est une fonction déterminée de la température à laquelle est soumise la soudure de ce thermocouple (dite soudure chaude) lorsque l'autre extrémité (dite soudure froide) se trouve à une température fixe. La mesure s'effectue en opposant à la force électromotrice inconnue du thermocouple, une force électromotrice égale et contraire, et dont la valeur peut être très exactement connue. Dans le type de potentiomètre utilisé, la température de cette soudure froide peut prendre une valeur quelconque car l'appareil comporte une compensation automatique de la soudure froide (MECI<sup>5</sup>).



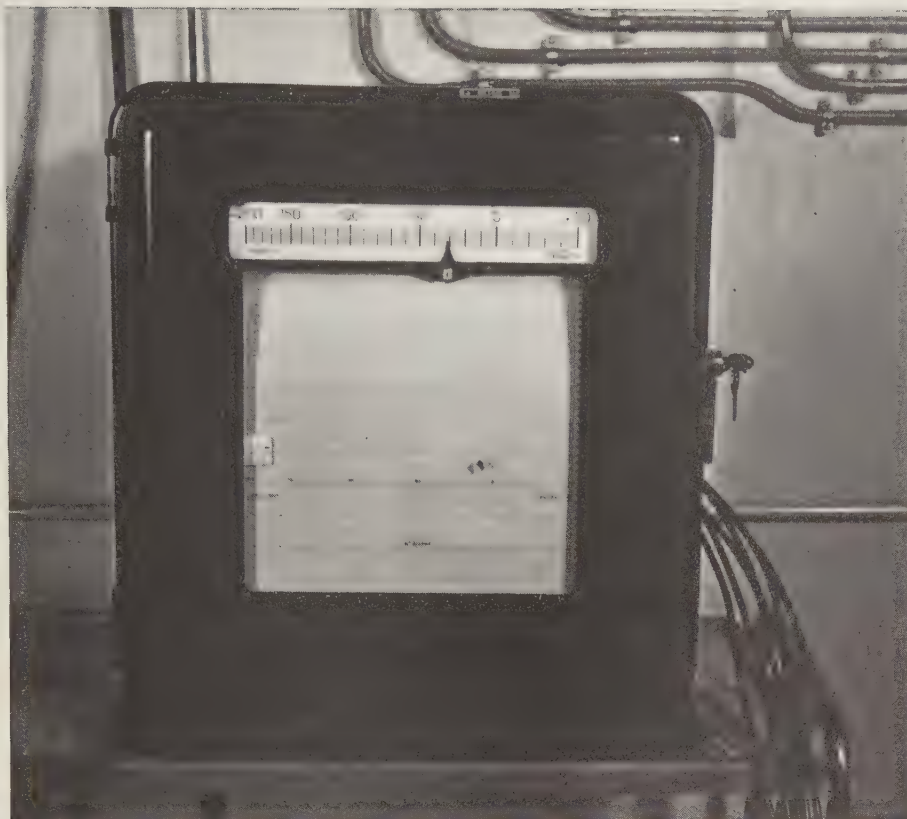


FIGURE 9

LE POTENTIOMÈTRE  
ENREGISTREUR DE  
TEMPÉRATURES MECI

On peut voir les six câbles de compensation reliés au congélateur et aux conservateurs.



FIGURE 10

LE BOITIER DE MESURES  
AVEC GALVANOMÈTRE  
INCORPORÉ

Outre le galvanomètre, on peut distinguer la pile d'alimentation, le bûcher pouvant contenir de la glace fondante et le logement réservé au montage en opposition.



Nous avons également utilisé un galvanomètre SEFRAM, de type Verisplot, à équipement immergé anti-choc, de 220 mm d'échelle, l'alimentation de la lampe étant possible en courant alternatif monophasé 220 volts ou en courant continu 6 volts.

Le galvanomètre fonctionnant en millivoltmètre est utilisé pour un montage en opposition, la soudure froide étant à 0° C dans un bûcher contenant de la glace fondante.

Le galvanomètre, la file d'alimentation de la lampe et le bûcher sont placés dans un boîtier transportable, réalisé en Klegecell (figure 10).

## B.- LA CONGELATION

Nous allons tout d'abord examiner comment il a fallu adapter le congélateur aux conditions particulières d'utilisation, c'est-à-dire aux basses températures et à l'expérimentation.

### 1°.- Aspects technologiques

#### a) le fonctionnement mixte du congélateur (Figures 11 bis et 12 bis)

Le congélateur est alimenté :

- par un compresseur d'une puissance de 4 KWH pouvant donner une température de - 60° C à l'évaporation, le fluide frigorigène étant du Fréon 22.
- par deux tanks de 600 litres d'azote liquide permettant une aspersion d'azote liquide à l'intérieur de l'enceinte, pouvant donc donner une température ambiante de - 196° C.

Il est muni de deux ventilateurs de brassage et de deux thermostats :

- l'un coupant le compresseur à une température réglable entre - 25° C et -60° C ( température à l'évaporateur).
- l'autre fermant l'aspersion d'azote liquide à une température réglable entre 0° C et - 196° C ( température ambiante dans l'enceinte).

Le tableau de commande du congélateur comprend :

- trois interrupteurs :
  - le premier commandant la mise en marche et l'arrêt du compresseur,
  - le deuxième commandant la mise en marche et l'arrêt des deux ventilateurs,
  - le troisième commandant l'ouverture ou la fermeture de l'électrovanne assurant l'alimentation du congélateur en azote liquide.
- un commutateur auto/manu qui permet, soit une commande automatique, soit une commande manuelle de la congélation mixte (figure 11).

Deux fonctionnements sont donc possibles :

#### - ligne de commande manuelle

Indépendamment du fonctionnement du compresseur, l'interrupteur marche-arrêt commande directement l'alimentation de la bobine de l'électrovanne, donc l'ouverture ou la fermeture de celle-ci, donc l'aspersion d'azote liquide.

.../



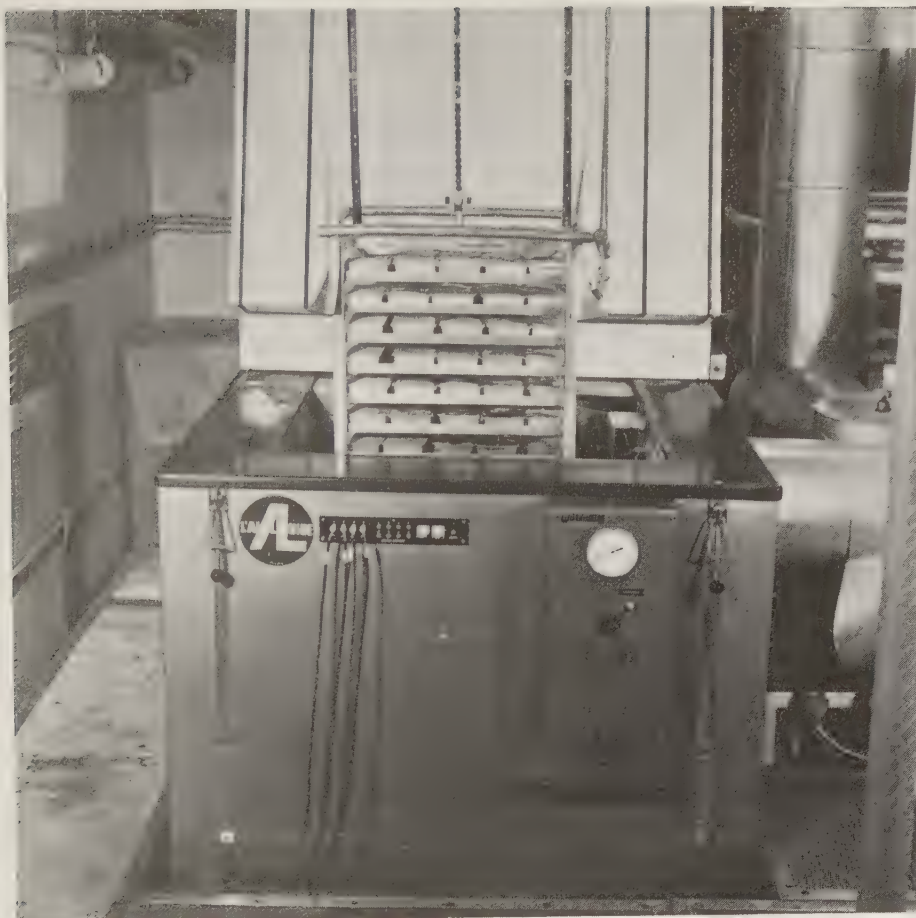


FIGURE 11 Bis  
LE CONGÉLATEUR  
Vue générale

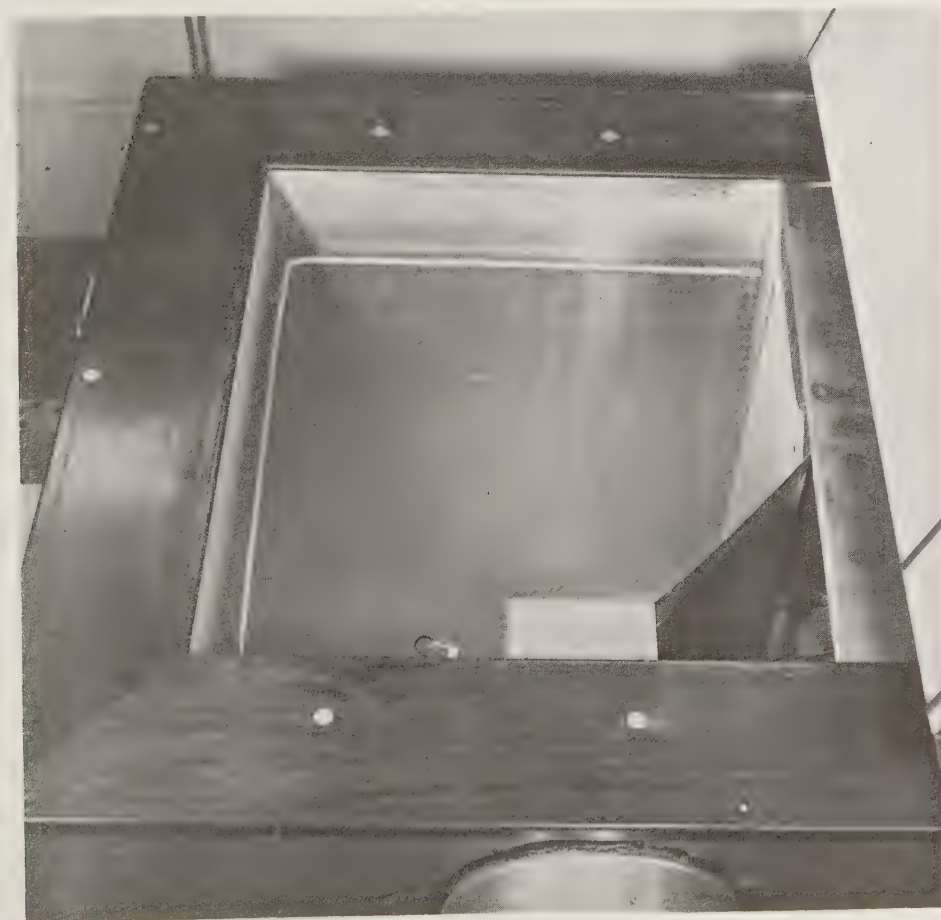


FIGURE 12 Bis  
L'ENCEINTE FROIDE DU  
CONGÉLATEUR

On peut voir l'évaporateur, la rampe d'aspersion d'azote liquide et un ventilateur.



### - ligne de commande automatique

L'interrupteur marche-arrêt ne commande l'ouverture de l'électrovanne que lorsque les conditions suivantes sont remplies :

- . le compresseur est coupé, soit directement par son interrupteur marche-arrêt, soit par le thermostat n° 1.
- . la porte du congélateur est fermée (il s'agit uniquement d'une sécurité).

### b) Les mesures de température dans le congélateur

Le congélateur est équipé de deux plaques à bornes, l'une sur la face externe, l'autre sur la face interne et, avec un câblage suffisamment long pour qu'il n'y ait pas de givrage, sur la face externe du congélateur (figure 12).

Chaque plaque à bornes comporte :

- 4 prises pour des mesures de températures par sondes à résistance de platine (les passages sont réalisés en fil de cuivre).
- 4 prises pour des mesures de températures par thermocouples (les passages sont réalisés en fil de couple Fer-constantan).
- 2 prises coaxiales, les passages étant réalisés en câbles coaxiaux.
- une prise de terre, le passage étant réalisé en fil de cuivre.

La plaque à bornes externe est reliée directement au potentiomètre enregistreur par un câblage en fil de compensation.

A l'intérieur de l'enceinte, les thermocouples placés, soit à cœur dans les produits, soit comme sondes d'ambiance, sont reliés à la plaque à bornes interne par des fiches mâles.

### c) La rampe d'aspersion d'azote liquide

Il avait été prévu une rampe verticale de 20 mm de diamètre, percée de trous de 2 mm de diamètre et espacés de 2 cm. Cette rampe a dû être abandonnée car dès qu'elle était à la température de l'azote liquide, celui-ci se déversait par les derniers trous, ne se vaporisait plus, et remplissait le fond de la cuve.

Nous avons donc utilisé une rampe horizontale (figure 12) de 10 mm de diamètre, percée de trous de 10 mm de diamètre et espacés de 2 cm; ces trous "crachent" de l'azote liquide, soit vers le haut et vers le bas, (à 45°) soit à l'horizontale. Nous avons recherché l'emplacement de ces trous dans la rampe d'une manière empirique de façon à obtenir un brassage optimum de l'azote liquide dans l'enceinte du congélateur.

### d) Les ventilateurs

Les ventilateurs d'origine étaient montés sur des bagues en laiton tournant autour d'axes en acier et l'on n'observait aucun griffage lors du fonctionnement normal avec le compresseur (c'est-à-dire jusqu'à - 60°), mais dès que la température atteignait - 100° C (avec une aspersion d'azote liquide) l'huile de lubrification des bagues se congelait et les ventilateurs s'arrêtaient.



## CIRCUIT ELECTRIQUE SCHEMA DE PRINCIPE

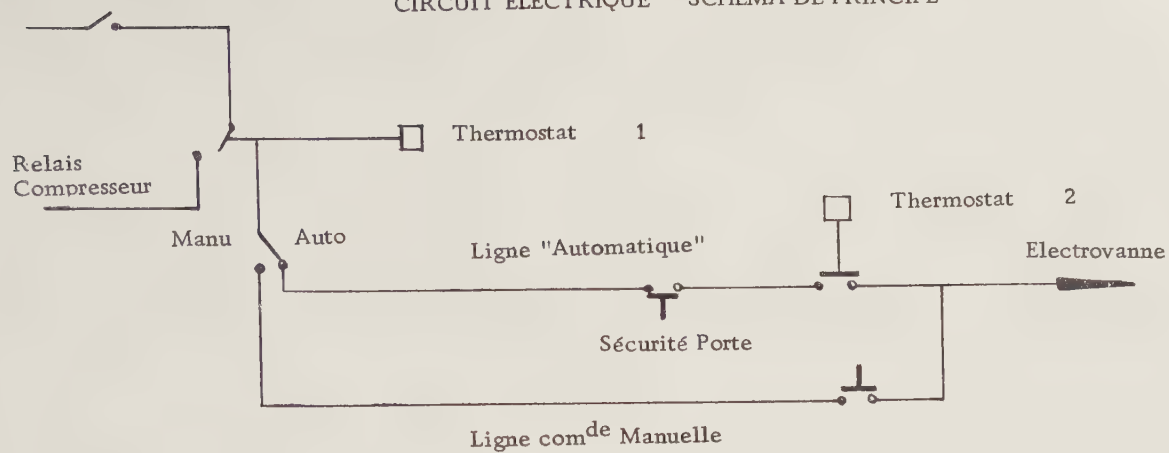


FIGURE 11

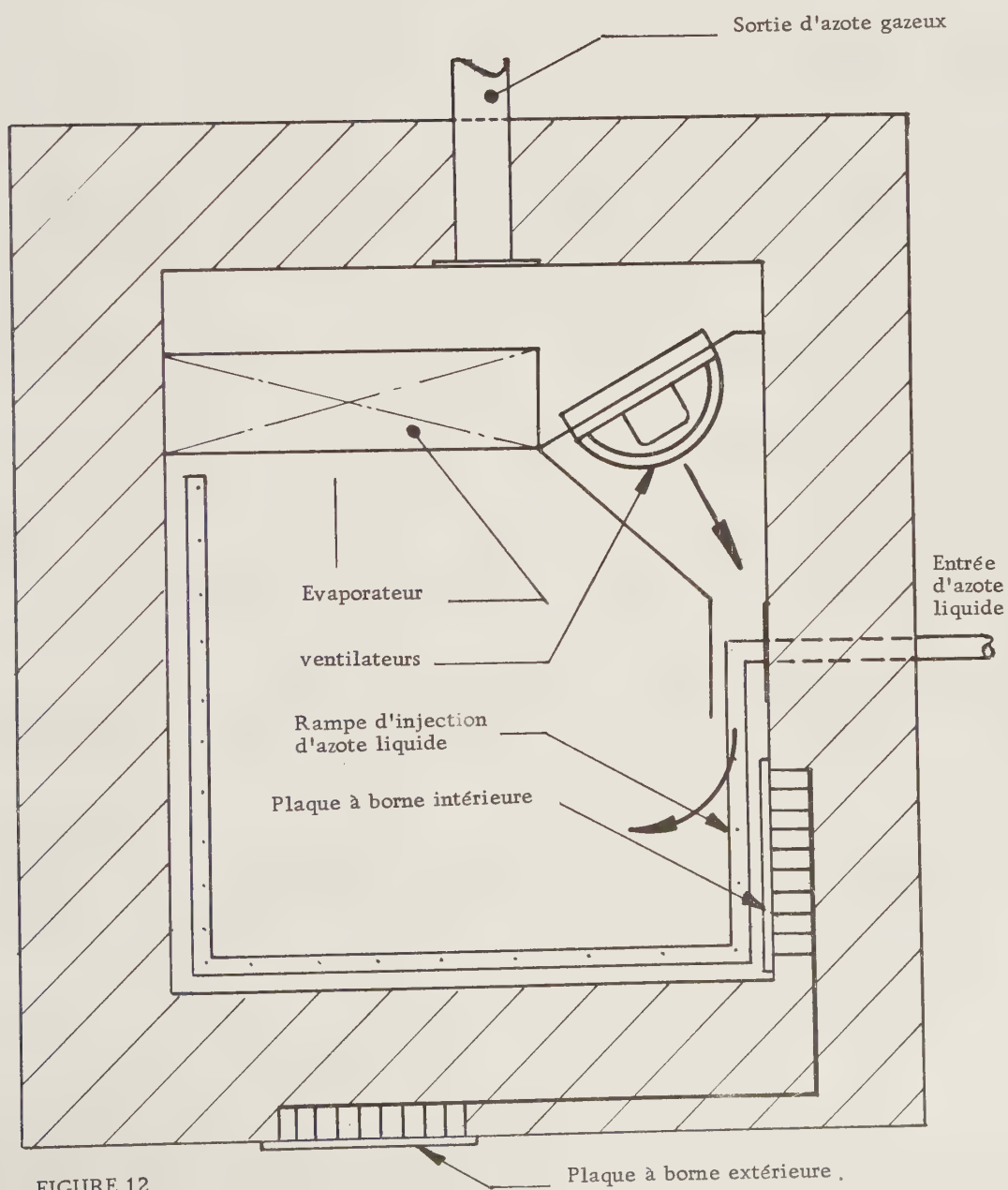


FIGURE 12



Des essais avec des bagues en laiton désimprégnées sous vide nous ont conduit au même résultat.

Nous avons enfin obtenu un fonctionnement normal des ventilateurs jusqu'à la température de  $-196^{\circ}\text{C}$  avec des bagues en graphite et des bagues en laiton "fritté".

Les bagues en laiton fritté ont été retenues car les bagues en graphite s'usaient très vite.

#### e) Mesure de débits d'azote liquide

Trois solutions s'offraient à nous pour mesurer les débits d'azote liquide dans le congélateur et chacun des conservateurs :

- équiper chaque appareil d'un compteur fixé sur la canalisation d'azote liquide à l'endroit où elle débouche dans l'enceinte froide. Cette solution a été rejetée immédiatement car pendant la mise en froid de la canalisation, on aurait mesuré des débits d'azote gazeux qui auraient faussé complètement les calculs.
- équiper chaque appareil d'un compteur fixé sur le dégazage de chaque appareil et mesurer les débits d'azote gazeux sortant de l'enceinte froide. Connaissant la quantité d'azote gazeux sortie de l'enceinte froide, on peut calculer aisément et très exactement la quantité d'azote liquide admise dans l'enceinte froide.
- Alimenter le congélateur et les conservateurs par un tank d'azote liquide placé sur une bascule et calculer les débits par différences de pesées.

Nous avons préféré la troisième solution à la deuxième pour des raisons d'ordre économique.

#### • Mode opératoire

A l'extérieur de l'atelier expérimental, nous avons relié, par un flexible isolé, un tank de 110 litres d'azote liquide placé sur une bascule, à la prise de dépotage des deux tanks de 600 litres d'azote liquide.

Le tank de 110 litres n'étant pas équipé d'une mise en pression rapide, nous avons raccordé le dégazage à une bouteille d'azote gazeux équipée d'un détendeur, de manière à avoir une pression d'injection d'azote liquide constante pendant les mesures.

#### • Résultats

Le tableau suivant donne les débits et les débits cumulés pour une pression d'injection de 1 Kg. en fonction du temps (voir figure 13).



| Durée<br>d'injection<br>en minutes | Durée<br>cumulée<br>en minutes | Poids<br>en Kgs | Poids<br>cumulés<br>en Kgs | Volumes<br>en litres | Volumes<br>cumulés<br>en litres | Débits<br>instantanés<br>en<br>litre/minute | Débits<br>cumulés en<br>litre/minute |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| 2                                  | 2                              | 2               | 2                          | 2,50                 | 2,50                            | 1,25                                        | 1,25                                 |
| 1                                  | 3                              | 1,8             | 3,8                        | 2,25                 | 4,75                            | 2,25                                        | 1,58                                 |
| 2                                  | 5                              | 2,2             | 6                          | 2,75                 | 7,5                             | 1,38                                        | 1,50                                 |
| 3                                  | 8                              | 4,6             | 10,6                       | 5,75                 | 13,25                           | 1,91                                        | 1,65                                 |
| 5                                  | 13                             | 8,4             | 19                         | 10,5                 | 23,75                           | 2,10                                        | 1,82                                 |
| 6                                  | 19                             | 11              | 30                         | 13,75                | 37,50                           | 2,29                                        | 1,97                                 |
| 4                                  | 23                             | 7,9             | 37,9                       | 9,87                 | 47,37                           | 2,46                                        | 2,06                                 |
| 5                                  | 28                             | 8,5             | 47,4                       | 10,62                | 59,25                           | 2,12                                        | 2,11                                 |
| 5                                  | 33                             | 10,5            | 57,9                       | 13,12                | 72,37                           | 2,62                                        | 2,19                                 |
| 2                                  | 35                             | 3,1             | 61                         | 3,87                 | 76,25                           | 1,94                                        | 2,17                                 |

## 2°.- Caractéristiques frigorifiques de la congélation

Des essais ayant été faits parallèlement de "trempe" des plats à même l'azote liquide, cette méthode a été éliminée dès l'origine car elle provoquait des fissures importantes détruisant la structure et la présentation des plats.

### a) Besoins théoriques en frigories

L'apport de frigories pendant la phase de surgélation se décompose comme suit pour un gramme de produit à surgeler :



MESURES DE DEBITS  
D'AZOTE LIQUIDE

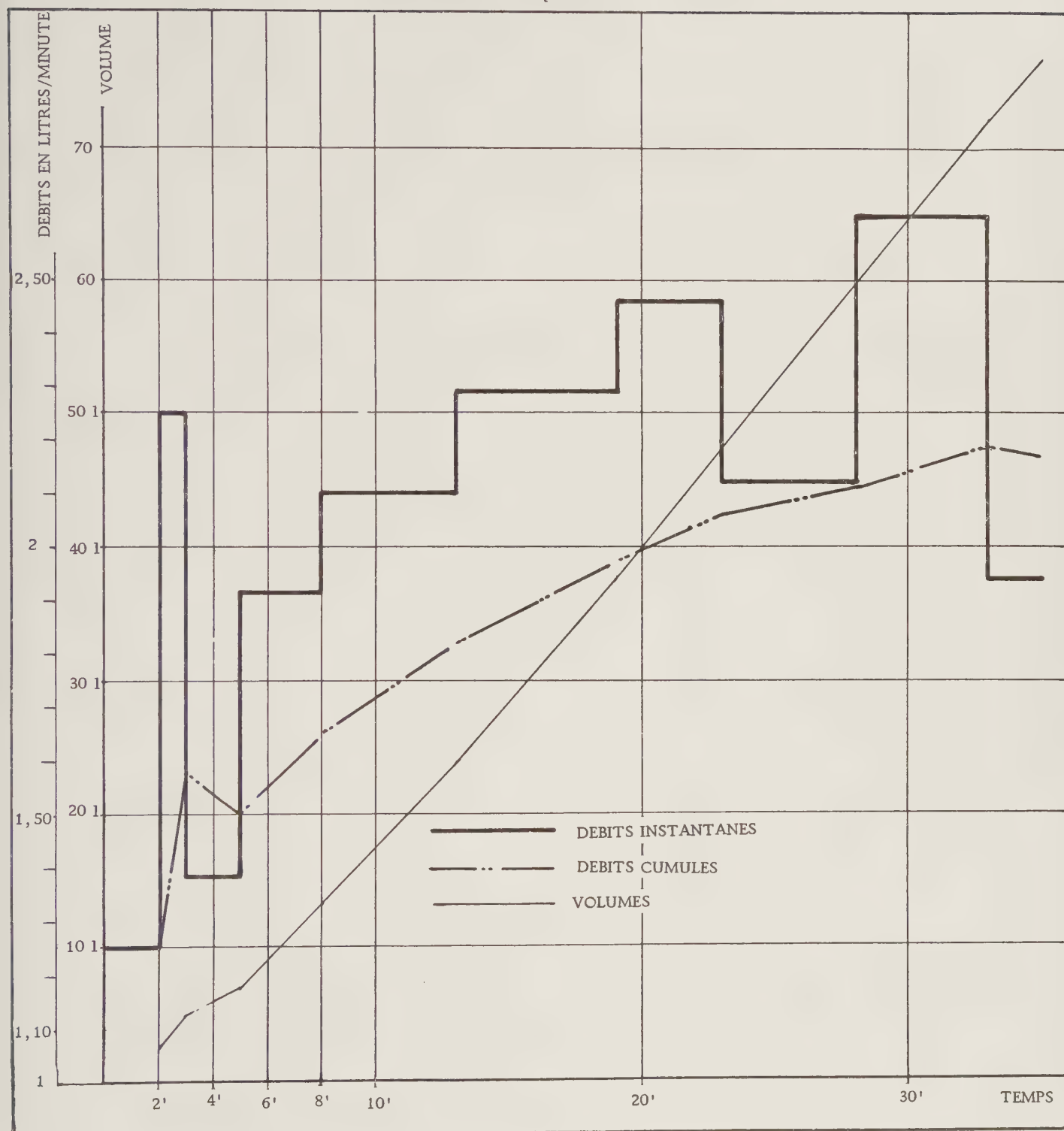


FIGURE 13



| <u>Phase</u>                                    | <u>Frigories</u> | <u>Pourcentage</u> |
|-------------------------------------------------|------------------|--------------------|
| Réfrigération de + 20° à 0° C .....             | 20               | 14,8%              |
| Palier de cristallisation de l'eau à 0° C ..... | 80               | 59,2%              |
| Surgélation de 0° à - 70° C .....               | 35               | 26%                |

soit 135 frigories pour congeler un gramme de produit de + 20° à - 70° C.

## b) Possibilités d'apport de frigories

### • le compresseur

Le tableau suivant montre, pour une température de condensation de + 25° C, l'évolution de la puissance frigorifique du compresseur en fonction de la température d'évaporation du Fréon 22 (chiffres fournis par le constructeur) :

| <u>Température<br/>d'évaporation du Fréon</u> | <u>Puissance fournie par le<br/>compresseur en frigories<br/>heure</u> |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| + 10°                                         | 43.000                                                                 |
| 0                                             | 30.000                                                                 |
| - 10°                                         | 20.000                                                                 |
| - 20°                                         | 12.600                                                                 |
| - 30°                                         | 7.500                                                                  |
| - 40°                                         | 4.000                                                                  |
| - 50°                                         | 2.000                                                                  |
| - 52°                                         | 1.600                                                                  |
| - 54°                                         | 1.400                                                                  |

Nous avons déterminé d'autre part l'évolution de la température d'évaporation du fréon (lue sur le manomètre basse pression du compresseur) lors de la congélation, en fonction du temps, et sur l'exemple suivant : congélation de 168 cassolettes en aluminium contenant chacune 250 g d'eau, soit au total 42 Kgs d'eau, les cassolettes étant placées sur un panier en aluminium de 9 Kgs (figure 14).

Nous pouvons ainsi déduire l'évolution de la puissance frigorifique  $p$  en fonction du temps (figure 15) lors de cette congélation, et calculer la puissance frigorifique totale  $P$  fournie par le compresseur, soit

$$P = \int_{t_1}^{t_2} p \, dt$$



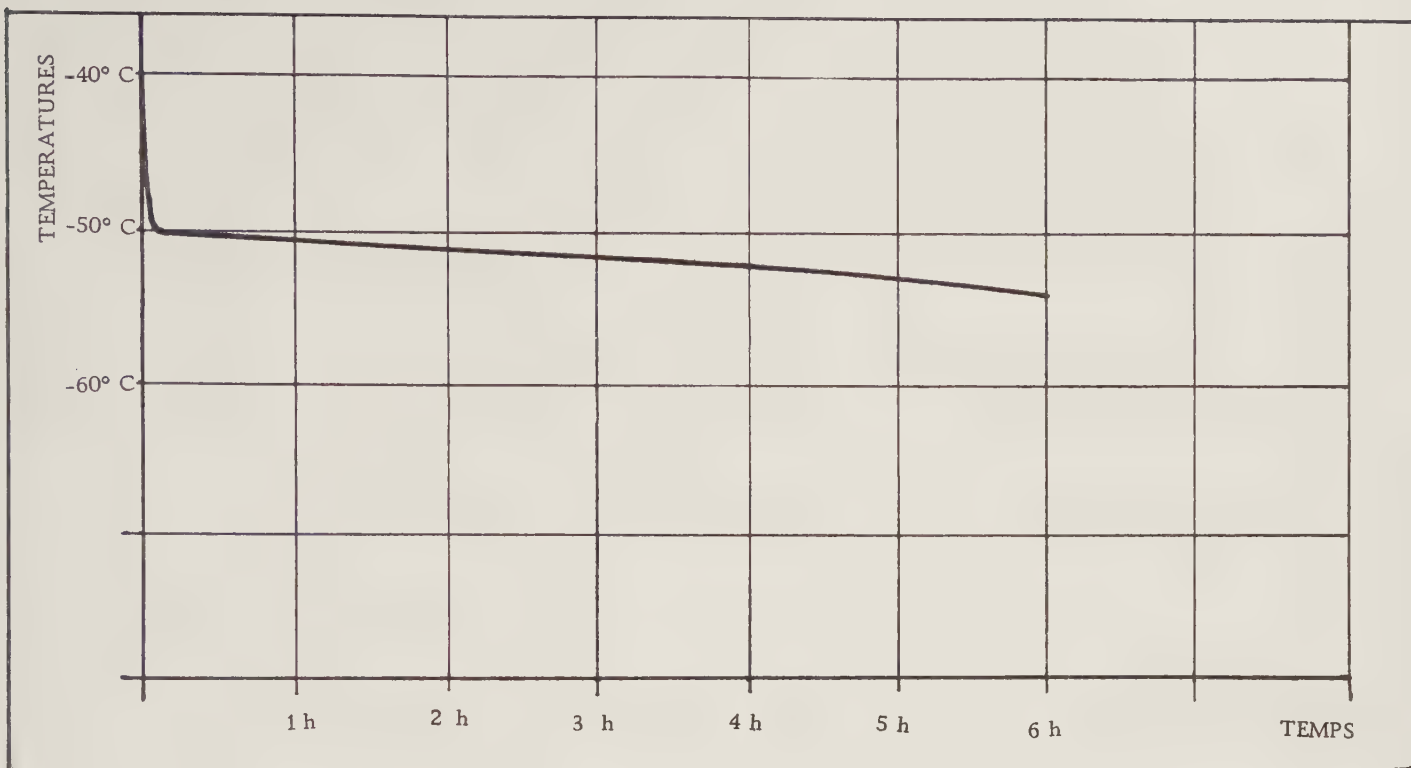


FIGURE 14

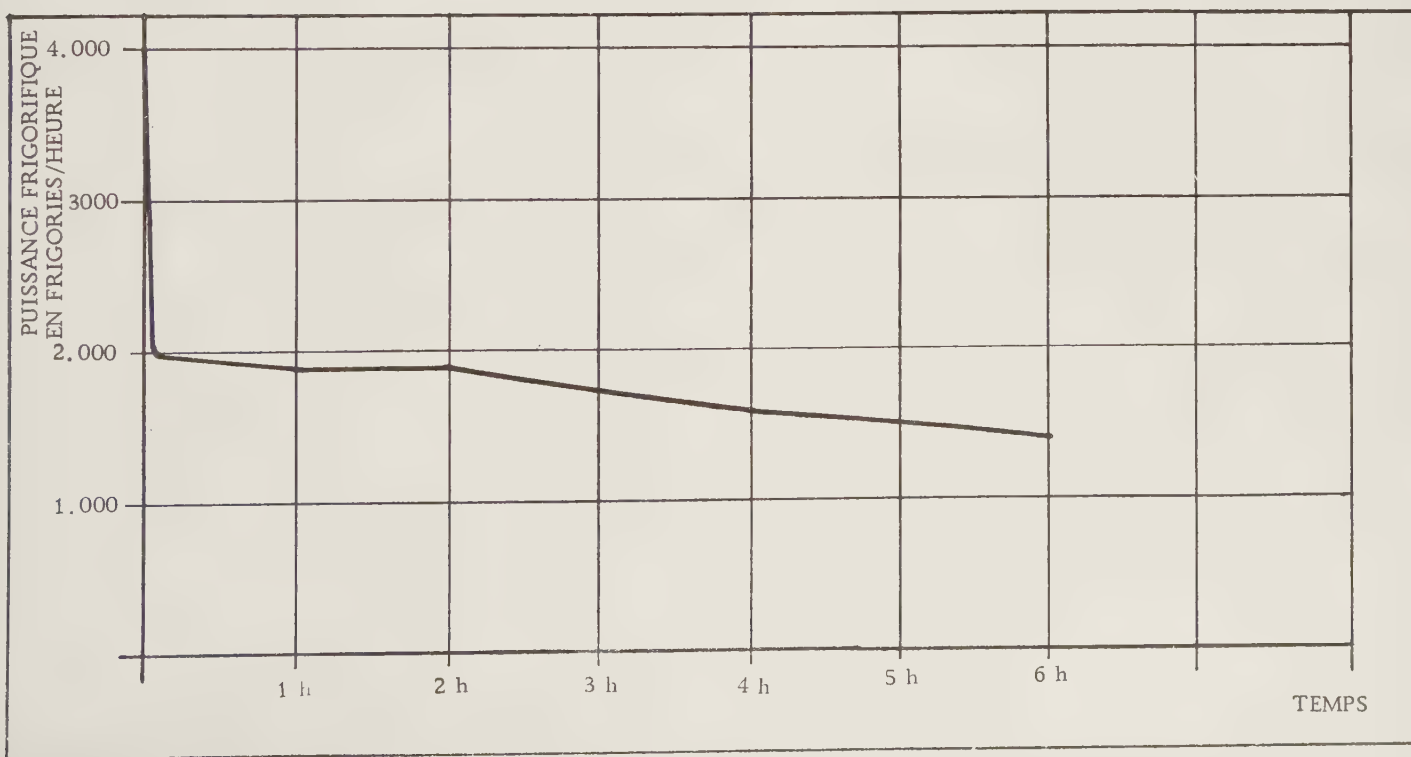


FIGURE 15



### • l'aspersion d'azote liquide

Pour un litre d'azote liquide (soit 0,802 kg) la chaleur de vaporisation absorbe 38,29 K. calories.

De plus, pour une congélation à - 70° C, le réchauffage d'un litre d'azote de - 196° C à - 70° C absorbe 27,70 K. calories.

On dispose donc, pour une congélation à - 70° C, de 64 frigories par litre d'azote liquide.

L'azote liquide étant stocké dans les tanks sous une pression de 1 kg/cm<sup>2</sup>, le débit mesuré est de 2 litres par minute d'aspersion.

Dans ces conditions, la puissance frigorifique disponible, lors d'une aspersion d'azote liquide, est de 7.680 frigories/heure.

### c) Bilan frigorifique d'une congélation.

Le tableau suivant montre, d'une part les besoins théoriques, d'autre part les apports théoriques en frigories, d'une congélation type, telle qu'elle a été décrite ci-dessus : congélation de 168 cassolettes en aluminium contenant chacune 250 g d'eau, soit au total 42 Kgs d'eau, les cassolettes étant placées sur un panier en aluminium de 9 Kgs.

• Dans le premier cas, le compresseur est utilisé pour la réfrigération préalable, puis pour passer le palier de cristallisation de l'eau, l'aspersion d'azote liquide se faisant postérieurement pour descendre jusqu'à - 70° C.

• Dans le deuxième cas, la congélation est entièrement faite avec le compresseur.

|                                                |                             | Besoins théoriques en frigories |       | Apport théorique en frigories |                                      |
|------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------|-------------------------------|--------------------------------------|
| : congélation:                                 | : compresseur               | : eau                           | 4.200 | : 3h.30 de fonctionnement     | 6.400                                |
|                                                |                             | : panier                        | 38    | 4.238                         |                                      |
|                                                | : aspersion d'azote liquide | : eau                           | 1.470 | : 15 ' d'aspersion d'azote    |                                      |
|                                                |                             | : panier                        | 135   | 1.605                         | : liquide (débit de 2 litres/minute) |
|                                                | : TOTAL                     |                                 |       | 5.843                         |                                      |
|                                                |                             |                                 |       |                               |                                      |
| : congélation entièrement faite au compresseur |                             | : eau                           | 5.670 | : 6h. de fonctionnement       | 10.400                               |
|                                                |                             | : panier                        | 173   |                               |                                      |
|                                                |                             |                                 | 5.843 |                               |                                      |



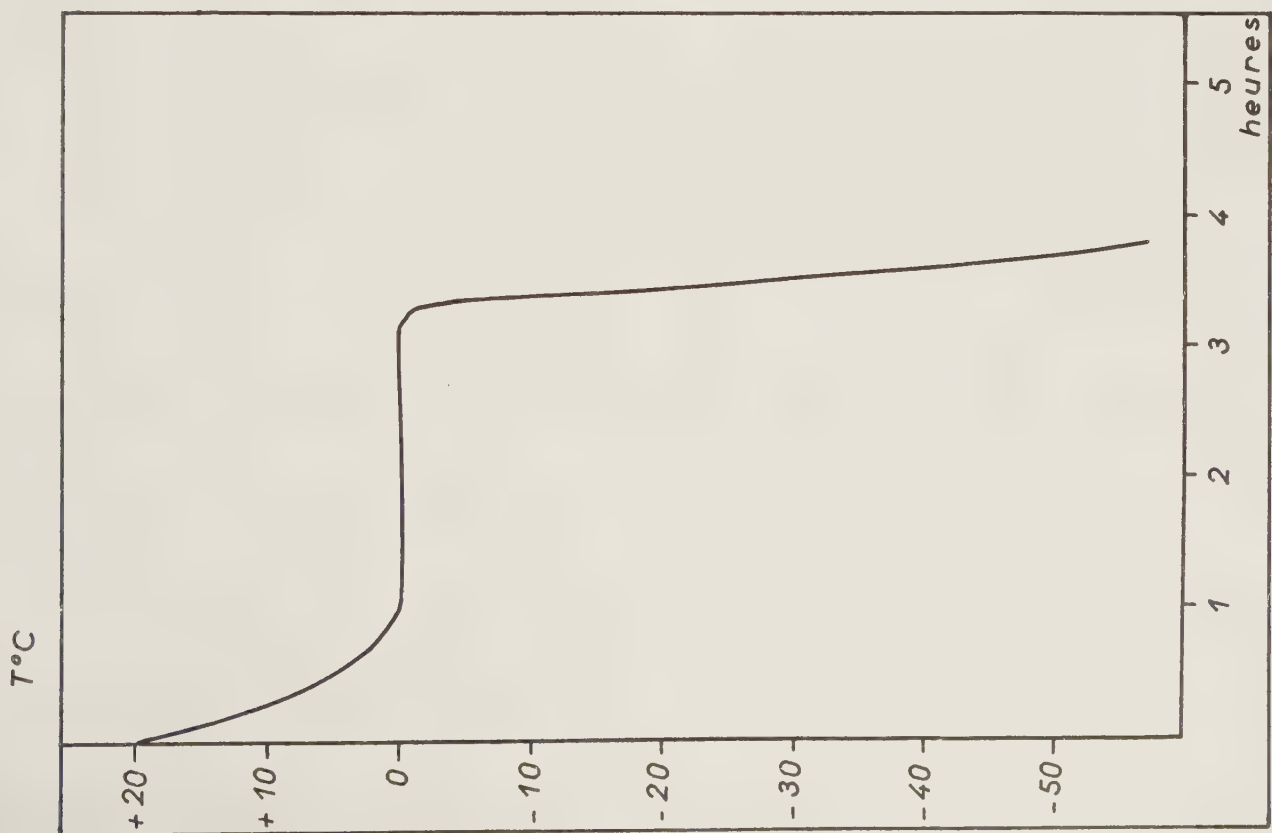
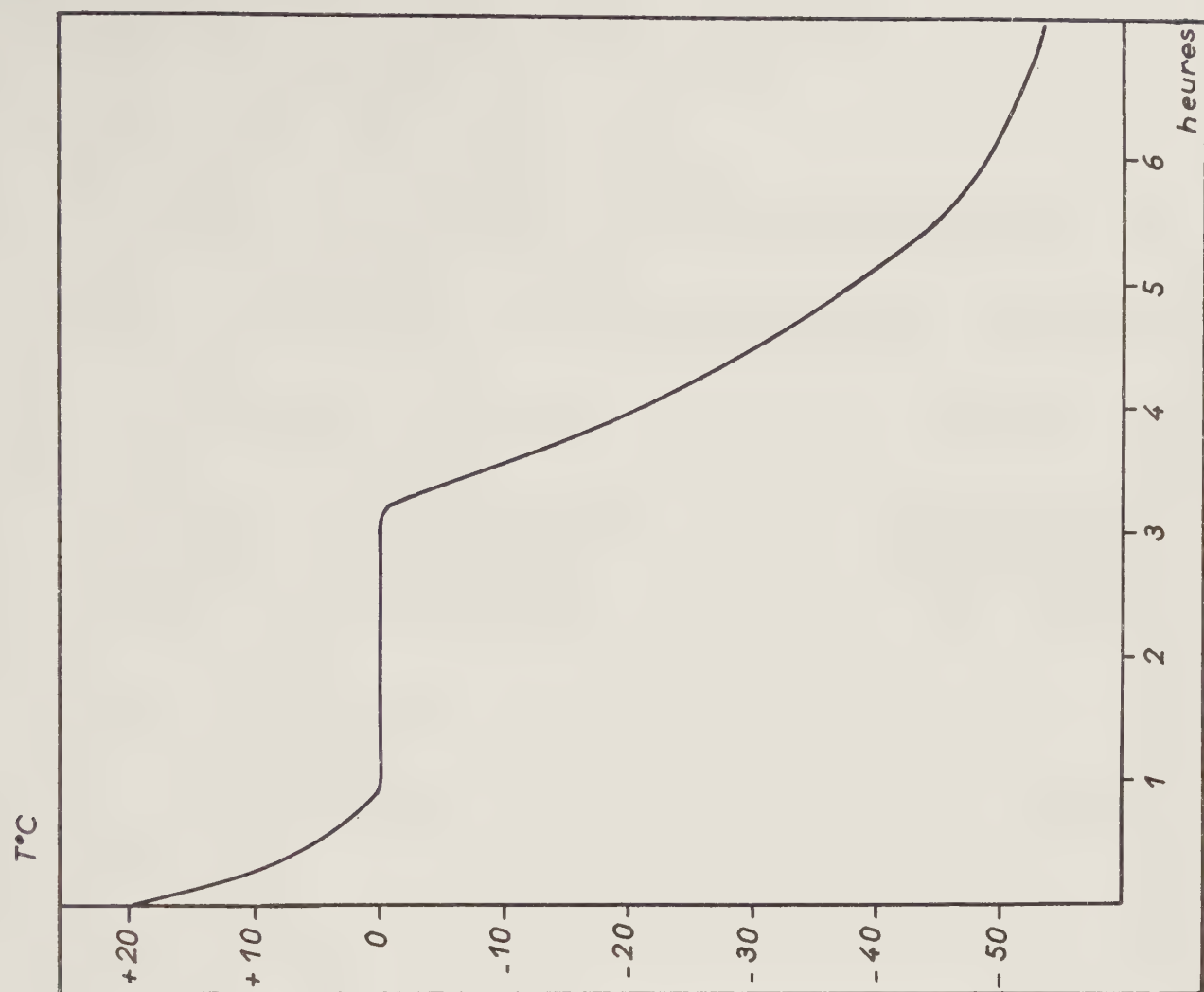


FIGURE 16



Les chiffres du tableau précédent montrent :

- que la puissance frigorifique du compresseur est surévaluée et qu'il y a des pertes importantes du compresseur à l'évaporateur. On peut retenir que la puissance frigorifique est sensiblement 4 fois plus importante pendant l'aspersion d'azote liquide que pendant le fonctionnement du compresseur.
- qu'il y avait intérêt sur le plan économique, à utiliser le compresseur pour la réfrigération préalable et pour passer le palier de cristallisation de l'eau, puis à n'injecter l'azote liquide qu'après, pour descendre jusqu'à  $-70^{\circ}$ .

Les courbes de la figure 16 montrent les différences entre une congélation entièrement faite par compresseur et une congélation mixte.

Les températures indiquées sur les courbes de cette figure ne sont que des températures moyennes ; nous allons voir qu'à un instant donné, lors de la congélation, les températures peuvent être très différentes suivant la localisation des thermocouples dans le plat cuisiné : cela correspond au transfert de chaleur de l'intérieur de la denrée vers la périphérie, ou, ce qui revient au même, au transfert de frigories de l'extérieur à l'intérieur de la denrée.

### 3°.- Mesures de transfert de chaleur

Le transfert de frigories a lieu, dans un premier stade, depuis la source de froid (évaporateur ou rampe d'aspersion d'azote liquide) jusqu'aux denrées, puis, dans un deuxième stade, à l'intérieur même de la denrée.

Ce premier transfert de frigories se fait d'une manière irrégulière suivant la localisation géographique de la denrée dans le congélateur (et par conséquent dans le panier).

#### a) Anisotropie thermométrique de l'enceinte froide

Nous avons placé dans un panier en acier inoxydable ( 32,500 Kgs) 122 cassolettes en aluminium mince contenant chacune 250 g de purée. Au fond de 8 de ces cassolettes (numérotées de 1 à 8) nous avons placé des thermocouples dans les mêmes conditions géographiques et nous avons localisé ces cassolettes à différents étages dans le panier (figure 17) et à différentes positions sur chaque plateau (figure 18). La congélation au compresseur a duré 6h.15' ( de  $+5^{\circ}$  C à  $-56^{\circ}$  C) puis a été suivie d'une aspersion d'azote liquide de 42 minutes (avec un débit de 1,5 litre par minute) pour atteindre  $-196^{\circ}$  C.

Les différences très sensibles entre les diverses cassolettes numérotées de 1 à 8, sont reportées sur la figure 19.

Il faut donc être très prudent lorsqu'on parle de températures puisqu'elles dépendent de la localisation des produits dans le panier et il faut choisir les temps de congélation correspondant aux emplacements les plus défavorisés.

#### b) Transfert de chaleur dans les produits

##### . Mode opératoire

Les deux principaux contenants ont été utilisés : cassolette et plat four en aluminium mince "alurec".

Dans la cassolette contenant 250 g de purée, nous avons placé 3 thermocouples a, b, c, et dans le plat four contenant 1.000 g de purée, nous avons également placé 3 thermocouples d, e, f, comme le montre la figure 20.

.../



- PANIER -

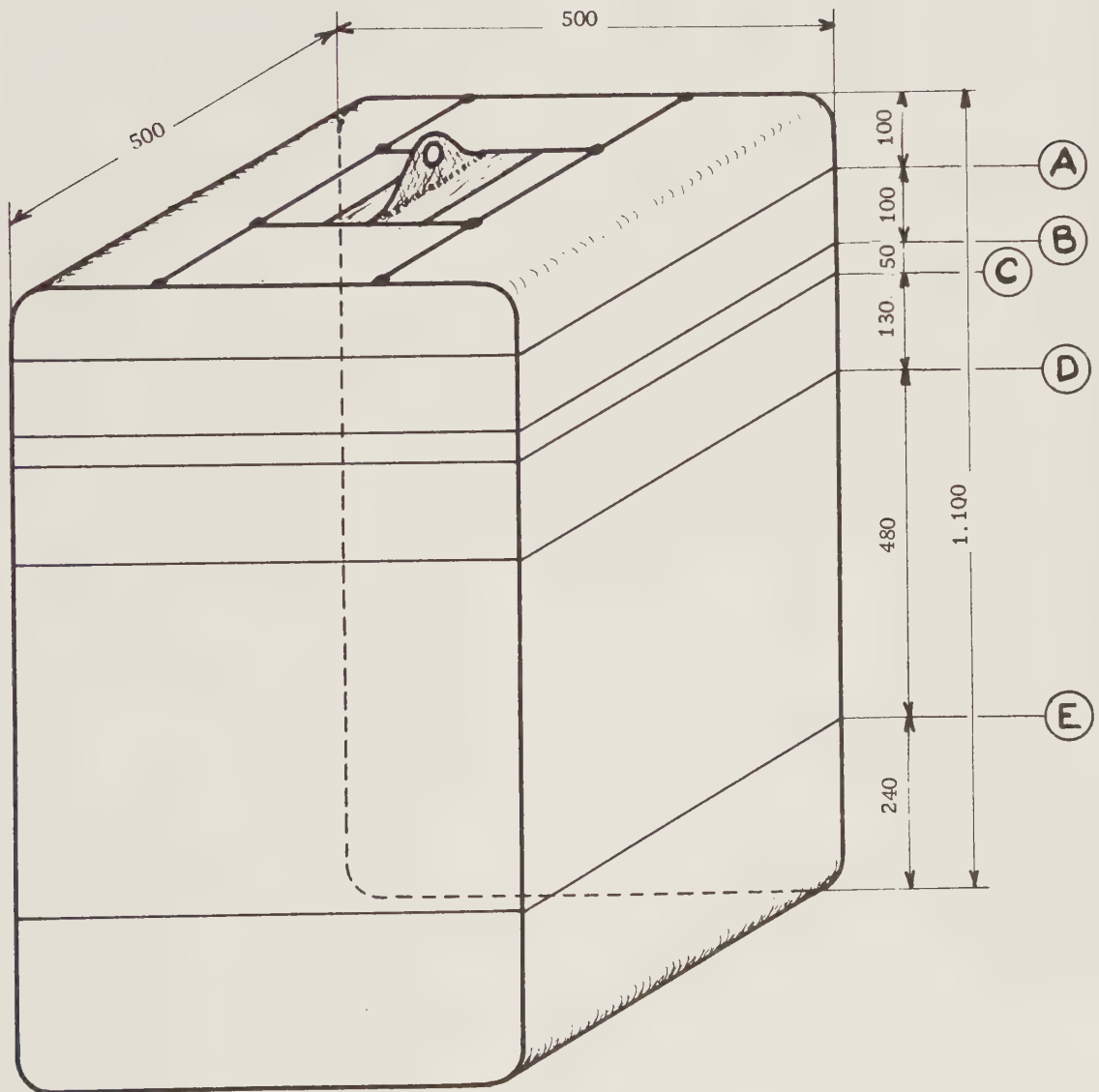


FIGURE 17



*Cassolettes (1 Sonde)*

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   | 3 |
|   | 2 |   |
| 1 |   |   |

A

*Plat Four (3 Sondes)*

|                |  |
|----------------|--|
|                |  |
| d-<br>e-<br>f- |  |

B

# **LOCALISATION DES PRODUITS DANS LE PANIER**

FIGURE 18

*Cassolettes (1 Sonde)*

|   |   |  |
|---|---|--|
| 6 |   |  |
|   | 5 |  |
| 4 |   |  |

C

*Cassolettes (1 Sonde)*

|  |   |   |
|--|---|---|
|  |   |   |
|  | 8 |   |
|  |   | 7 |

E

*Cassolettes (3 Sondes)*

|  |                |  |
|--|----------------|--|
|  |                |  |
|  | a-<br>b-<br>c- |  |
|  |                |  |

D



## ETUDE DU TRANSFERT DE FRIGORIES

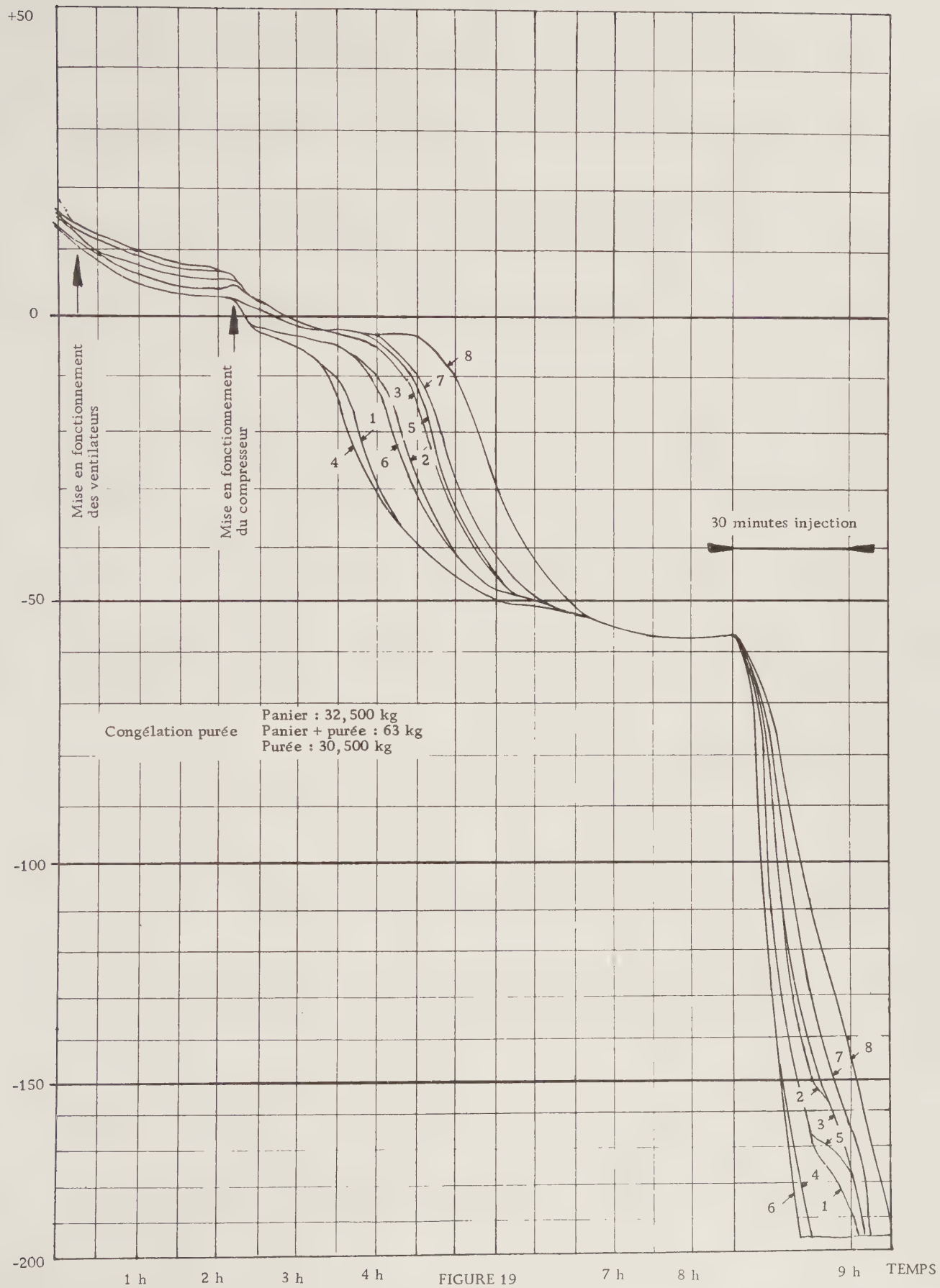


FIGURE 19



La casserole et le plat four étaient placés dans un panier en acier inoxydable (32,500 Kgs) chargé avec 118 casseroles et un plat four (soit au total 30,500 Kgs de purée).

Les figures 17 et 18 montrent la localisation de la casserole et du plat four dans le panier et dans chaque plateau.

Les 6 thermocouples a, b, c, d, e, f ont été reliés au potentiomètre enregistreur MECI.

Nous avons répété cette expérience dans les trois cas suivants :

- congélation par "compression", puis injection d'azote liquide à  $- 56^{\circ}$
- injection d'azote liquide à la fin du palier de cristallisation
- injection d'azote liquide au début du palier de cristallisation.

#### . Résultats

- congélation par "compression" jusqu'à  $- 56^{\circ}$ , puis injection d'azote liquide

Les courbes des températures indiquées par les thermocouples a, b, c, d, e, f sont reportées sur la figure 21.

Pour la casserole, les différences de températures entre les thermocouples a, b ou c n'excèdent jamais  $6^{\circ}$  C, et le palier de cristallisation a sensiblement la même durée pour les 3 emplacements de thermocouples choisis ( 2 h. pour le thermocouple c et 2 h. 15' pour le thermocouple b).

Par contre, pour le plat four, les différences de températures entre les thermocouples d, e ou f sont importantes et peuvent atteindre  $26^{\circ}$  C et le palier de cristallisation a des durées sensiblement différentes pour les trois emplacements de thermocouples choisis ( 2h.45' pour le thermocouple f et 3h.40' pour le thermocouple e).

Mais lorsque l'on a atteint un état de rigidité suffisant vers  $- 56^{\circ}$  C et que l'on procède à une aspersion d'azote liquide, on n'observe que des différences de températures minimes entre les trois thermocouples, que ce soit dans la casserole ou dans le plat four.

- congélation par "compression", puis injection d'azote liquide à la fin du palier de cristallisation.

Les courbes des températures indiquées par les thermocouples a, b, c, d, e, f sont reportées sur la figure 22 . Pour l'injection d'azote liquide, la fin du palier de cristallisation correspond au plat four.

Pour la casserole, l'expérience est sensiblement la même que précédemment, mais pour le plat four, on observe des différences de températures très faibles entre les trois thermocouples d, e et f, bien que l'aspersion d'azote liquide se fasse à une température relativement élevée (entre  $- 4^{\circ}$  C et  $- 8^{\circ}$  C).

- congélation par "compression", puis injection d'azote liquide au début du palier de cristallisation

Les courbes des températures indiquées par les thermocouples a, b, c, d, e, f sont reportées sur la figure 23.

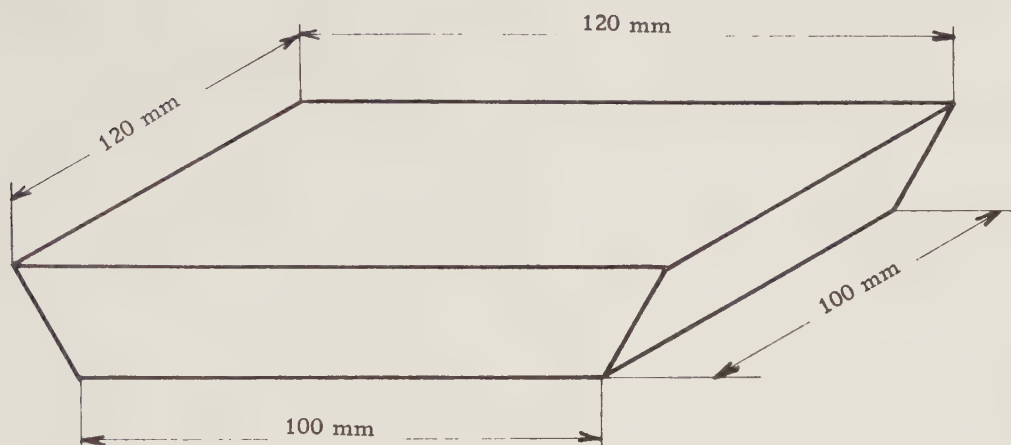
Pour la casserole, on observe des différences de températures qui peuvent atteindre  $27^{\circ}$  C entre les thermocouples b et c, et pour le plat four, des différences qui peuvent atteindre  $67^{\circ}$  C entre les thermocouples e et f.

.../

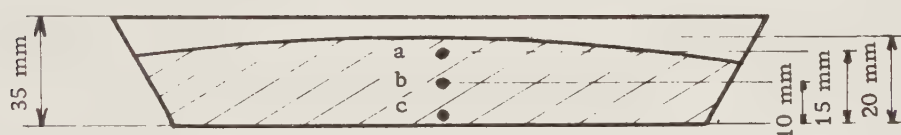


## DE TEMPERATURE

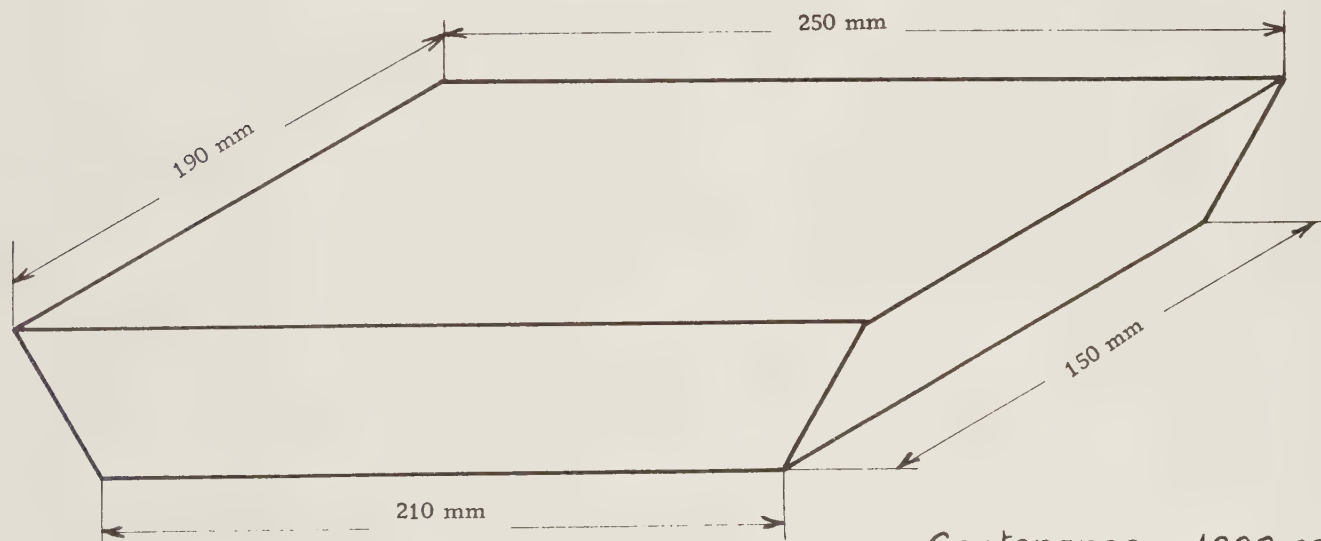
Cassiolette en Aluminium Mince "ALUREC"



Contenance 200 cc



Plat Four en Aluminium Mince "ALUREC"



Contenance 1000 cc

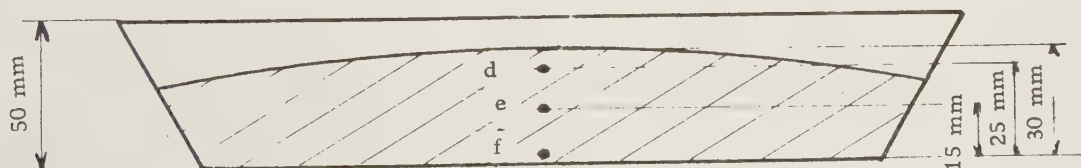


FIGURE 20



## ETUDE DU TRANSFERT DE FRIGORIES

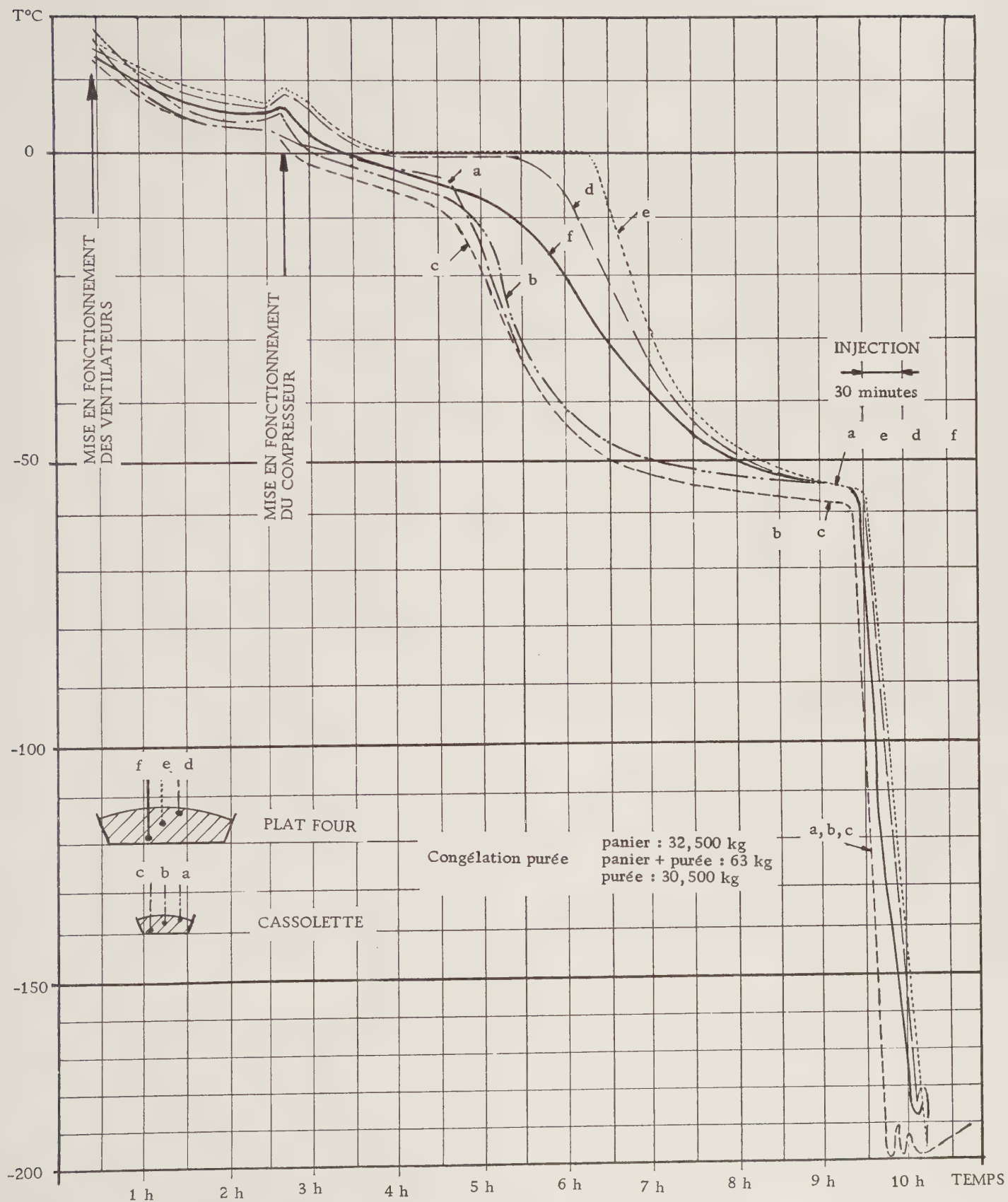


FIGURE 21



## ETUDE DU TRANSFERT DE FRIGORIES

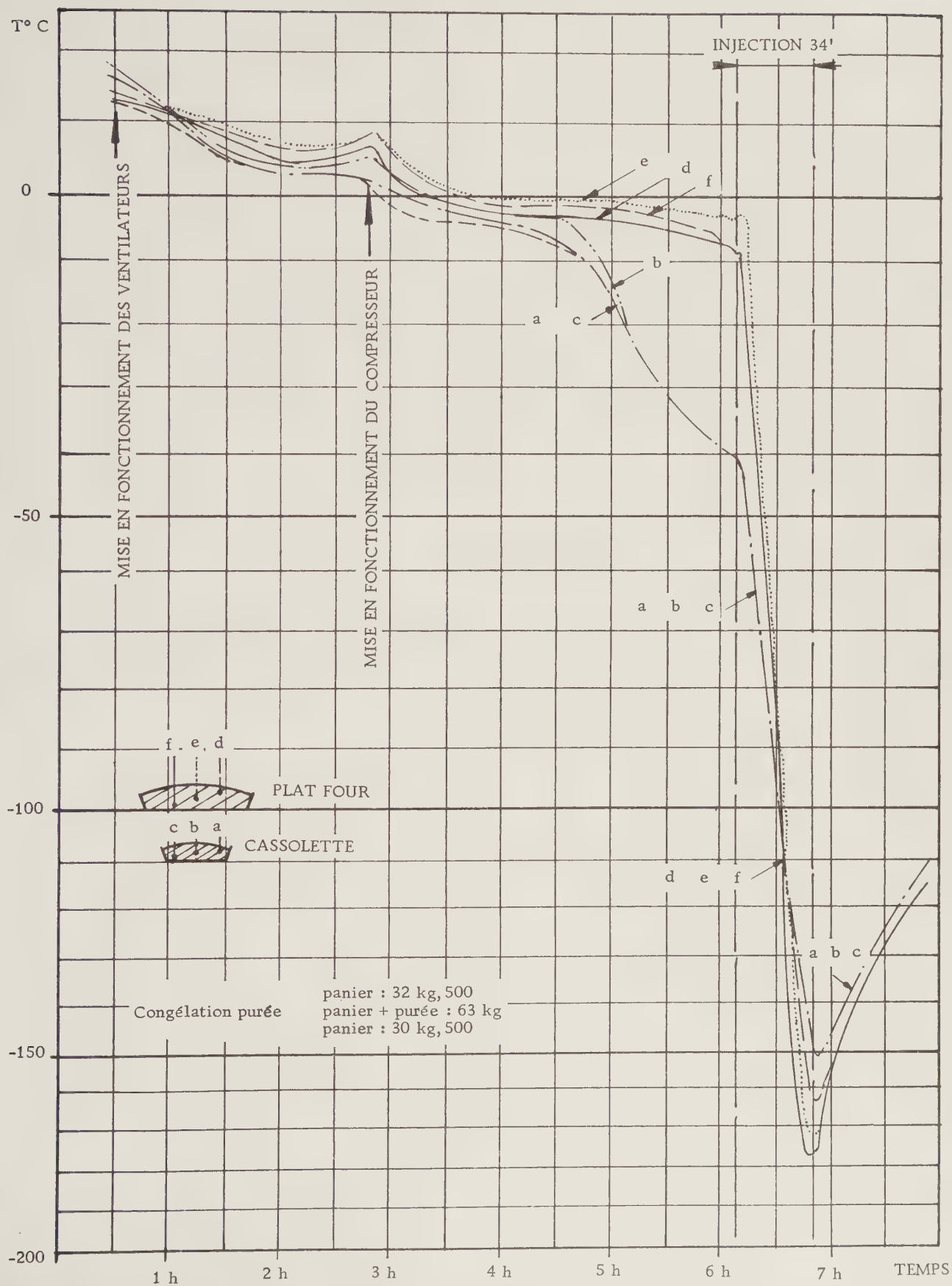


FIGURE 22



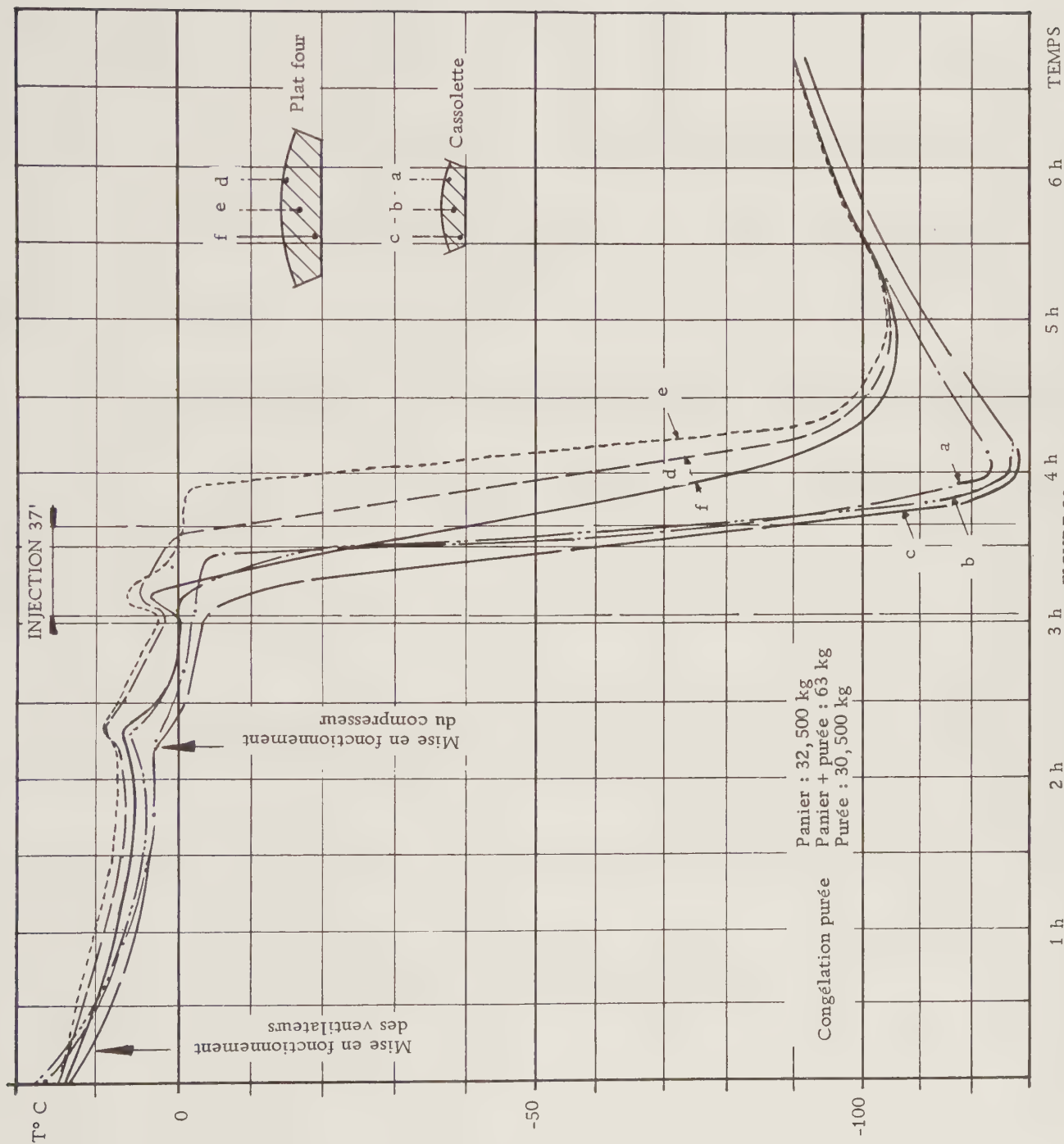


FIGURE 23



Pour le palier de cristallisation, les différences de temps sont respectivement de 20' (cassiolette, thermocouples b et c) et de 40' (plat four, thermocouples e et f).

## B. Conclusions

Il n'est pas dans notre propos de dégager une loi générale sur les transferts de chaleur, mais simplement de constater deux faits :

- le premier, c'est qu'il faut être très prudent lorsqu'on parle de température "à coeur". Nous avons vu, en effet, qu'il suffit de déplacer le thermocouple de quelques millimètres pour que l'on ait des variations de températures de quelques degrés à quelques dizaines de degrés pendant la congélation.
- le deuxième, c'est que le transfert de chaleur se fait très aisément, c'est-à-dire qu'on peut congeler très vite par aspersion d'azote liquide lorsqu'on a passé le palier de cristallisation.

## C.- LA CONSERVATION

Nous allons tout d'abord examiner comment il a fallu adapter les conservateurs aux conditions particulières d'utilisation (c'est-à-dire aux basses températures et à l'expérimentation) et quelles furent les difficultés rencontrées.

Nous ne parlerons ici que des conservateurs expérimentaux maintenus en froid par des aspersions d'azote liquide, nous réservant de les comparer aux conservateurs classiques dans le chapitre III.

### 1°.- Aspects technologiques

#### a) Le fonctionnement des conservateurs

Les conservateurs sont constitués par une armature métallique noyée dans de la mousse de polystyrène expansé (de densité 20 kg/m<sup>3</sup>) revêtue d'un stratifié en polystyrène ; l'épaisseur de l'isolant est de 20 cm et le volume utile de chaque conservateur est de 1,30 m<sup>3</sup> (c'est-à-dire que chacun d'eux peut recevoir deux paniers de manutention). (figure 24).

L'apport de frigorifiques (par les rampes d'aspersion d'azote liquide) est destiné à compenser les rentrées de chaleur par les parois et lors des ouvertures de portes.

Chaque conservateur est alimenté :

- directement par les deux tanks de 600 litres d'azote liquide,
- par la récupération d'azote gazeux provenant du congélateur.

Chaque conservateur est muni d'un thermostat permettant de régler la température ambiante entre 0° C et - 196° C.

.../



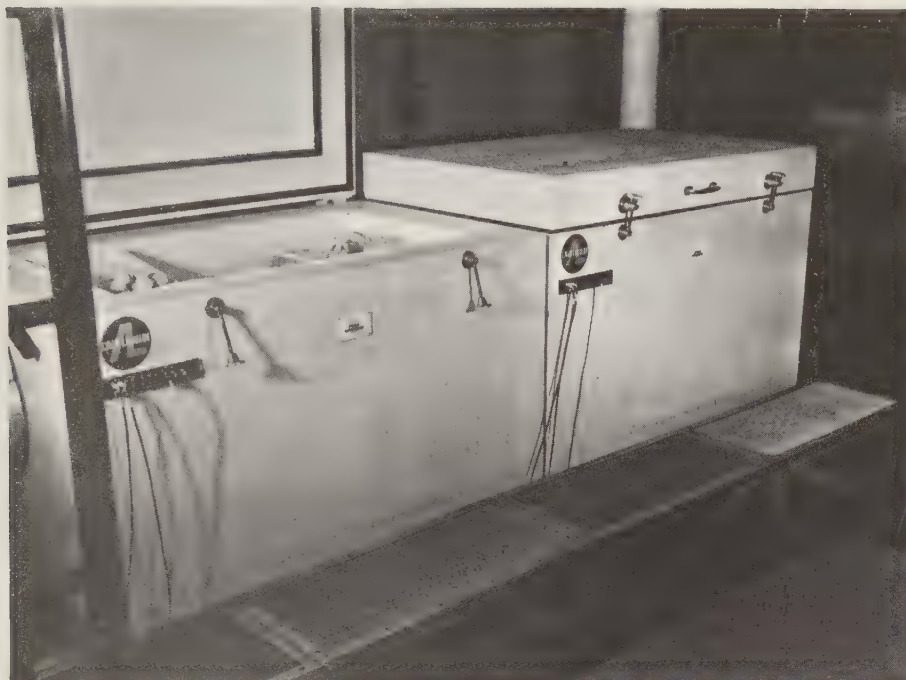


FIGURE 24  
LES CONSERVATEURS



FIGURE 24 Bis  
LE CONTAINER A.F. II



Le tableau de commande de chaque conservateur comprend :

- un interrupteur marche/arrêt commandant l'ouverture ou la fermeture de l'électrovanne assurant leur alimentation en azote liquide.
- un commutateur auto/manu qui permet, soit une commande automatique soit une commande manuelle de l'électrovanne.

Deux fonctionnements sont donc possibles :

• ligne de commande manuelle

L'interrupteur marche/arrêt commande directement l'ouverture ou la fermeture de l'électrovanne.

• ligne de commande automatique

L'interrupteur marche/arrêt commande l'ouverture de l'électrovanne lorsque la porte du conservateur est fermée et lorsque le thermostat s'est réchauffé et a fermé le circuit électrique.

Pour contrôler la durée de l'injection d'azote liquide, un relais temporisé permet l'alimentation électrique de l'électrovanne pendant un temps déterminé (on peut régler ce temps entre 2 et 8 minutes) même si le thermostat refroidi par la douche d'azote liquide a coupé le circuit électrique.

b) Les mesures de températures dans les conservateurs

De la même manière que pour le congélateur, chaque conservateur est équipé de deux plaques à bornes, l'une sur la face externe et l'autre sur la face interne, reliées par un câblage suffisamment long pour qu'il n'y ait pas de givrage sur la face externe.

Malheureusement, le cheminement du câblage a été mal isolé et l'on a fréquemment constaté un givrage sur la plaque à bornes externe qui a provoqué l'apparition de rouille sur les parties métalliques.

c) Les rampes d'aspersion d'azote liquide

Nous avons utilisé des rampes analogues à celle qui est décrite dans l'équipement du congélateur.

d) Les accidents de fonctionnement

Le fonctionnement d'un conservateur est normal lorsque la température des produits qui y sont stockés reste constante.

Il y a fonctionnement anormal lorsque l'on constate soit une hausse, soit une baisse excessive de température.

• Remontée de température

Trois faits peuvent provoquer une hausse de température :

- un tank d'azote liquide est vide. L'azote liquide nous étant livré par dépotage de tanks de 600 litres, nous ne pouvons remplir un tank que lorsqu'il était absolument vide, ce qui nécessitait de mettre en service alternativement l'un et l'autre des deux tanks.

.../



- un dérèglement du thermostat. Les thermostats utilisés sont des thermostats à "bilames" qui ne sont pas fidèles. Il fallait donc les régler fréquemment pour obtenir une température de conservation constante.
- une fermeture anormale de l'électrovanne. Ceci peut se produire pendant une panne d'électricité et il suffit alors d'alimenter les conservateurs par un système de vannes manuelles.

Ceci peut également se produire lorsque la bobine de l'électrovanne est grillée et il faut alors changer l'électrovanne. Nous n'avons rencontré cette panne qu'une seule fois, ce qui est peu si l'on considère que la bobine d'une électrovanne est alimentée 200 à 800 fois par jour suivant les réglages, soit de 70.000 à 300.000 mouvements par an.

#### . Baisse excessive de température

Deux faits peuvent provoquer une baisse excessive de température :

- un dérèglement du thermostat.
- une ouverture anormale de l'électrovanne. Bien que n'étant pas alimentée par le circuit électrique, une électrovanne peut se bloquer en position ouverte, un élément étranger ( bouchon de glace ou corps étranger) empêchant le pointeau de reposer correctement sur son siège. Il suffit alors de fermer la vanne manuelle qui se trouve en aval de l'électrovanne pour créer une dépression qui chasse le corps étranger du siège de l'électrovanne.

#### e) Les variations de température dans les conservateurs.

Nous avons réglé les deux conservateurs pour obtenir des températures de conservation de - 50° C dans le premier et de - 18° C dans le deuxième.

##### a1 - Les variations de température en fonction du temps

Entre deux aspersions d'azote liquide, la température ambiante et la température des produits surgelés remontent, puis baissent à chaque aspersion. La figure 25 représente les variations de la température ambiante, de la température ambiante des canalisations de dégazage et de la température des produits surgelés conservés à - 50° C, le relais temporisé étant réglé respectivement sur 2 et 4 minutes.

La figure 26 représente ces mêmes variations pour les produits surgelés conservés à - 18° C.

L'examen de la figure 25 montre que les variations de températures auxquelles sont soumis les produits surgelés, sont importantes ( 3° C lorsque le relais temporisé est réglé sur 2 minutes et 5° C lorsqu'il est réglé sur 4 minutes).

On voit également que le dégazage constitue un pont thermique non négligeable puisqu'il se réchauffe beaucoup plus vite que l'ambiance.

.../



CONSERVATEUR A -50° C

— TEMPERATURE DES PRODUITS  
— AMBIANCE CONSERVATEUR  
- - - AMBIANCE DEGAZAGE

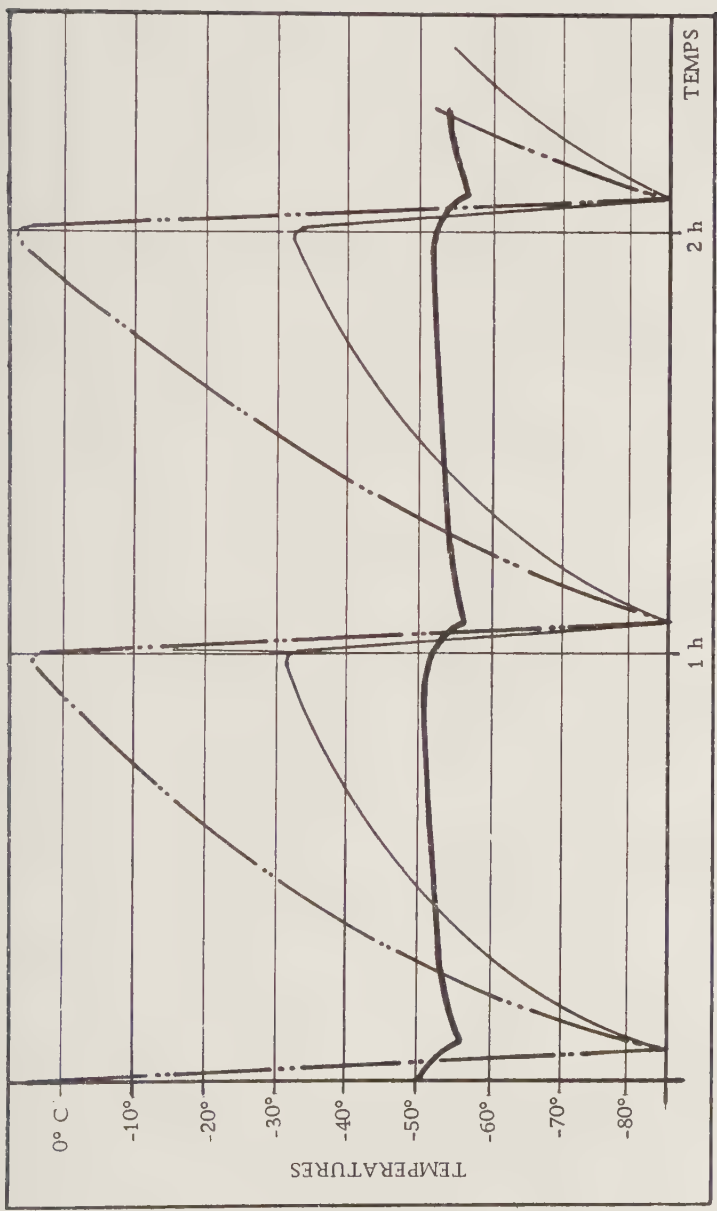
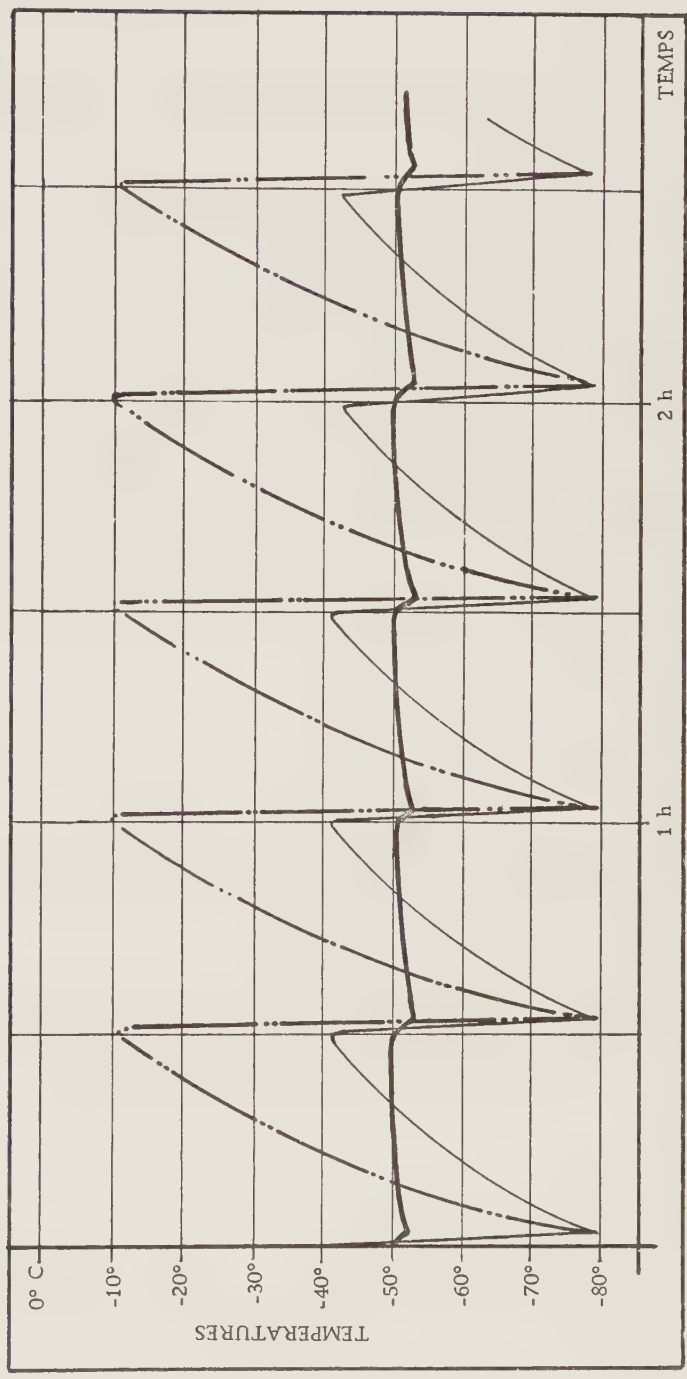


FIGURE 25





L'examen de la figure 26 montre que les variations de températures auxquelles sont soumis les produits surgelés conservés à  $-18^{\circ}\text{C}$  sont encore plus importantes ( $8^{\circ}\text{C}$  lorsque le relais temporisé est réglé sur 2 minutes et  $14^{\circ}\text{C}$  lorsqu'il est réglé sur 4 minutes).

L'évolution des températures ambiantes montre qu'il y a une récupération d'azote gazeux froid provenant du conservateur à  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Si l'on compare les figures 25 et 26, on voit que la consommation du conservateur à  $-50^{\circ}\text{C}$  est 4 fois plus importante que celle du conservateur à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

### e2 - Les variations de température en fonction de la localisation géographique des produits

Nous avons constaté une stratification de l'air ambiant dans le conservateur, de telle manière que les couches d'air sont de plus en plus froides au fur et à mesure que l'on descend dans le conservateur, stratification qui a entraîné des températures différentes pour les produits conservés suivant leur hauteur dans les conservateurs.

Des thermocouples ont été placés dans des produits déposés respectivement à la partie supérieure (cote - 10 cm) et à la partie inférieure (cote - 100 cm) des paniers de manutention et les courbes enregistrées sont reproduites sur la figure 27 ; on voit que les différences sont de  $30^{\circ}\text{C}$  pour 100 cm dans le conservateur à  $-50^{\circ}\text{C}$  et de  $15^{\circ}\text{C}$  pour 100 cm dans le conservateur à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Ces différences ne sont pas dangereuses pour les produits, mais elles représentent un gaspillage de frigories.

### e3 - Les solutions

#### . Ventilation des containers

Un ventilateur analogue à ceux qui équipent le congélateur a été installé dans le conservateur à  $-50^{\circ}\text{C}$  de telle manière qu'un brassage continu de l'air ambiant entraîne une homogénéisation des températures entre le haut et le bas du conservateur.

Le résultat est satisfaisant (figure 28) mais le ventilateur apporte une certaine quantité de chaleur qu'il faut compenser par un apport supplémentaire d'azote liquide entraînant une augmentation de la consommation, le problème des variations de températures en fonction du temps n'étant pas résolu.

#### . Suppression des relais temporisés

La suppression des relais temporisés a pour conséquence des injections très courtes et très rapprochées dans le temps (ouverture et fermeture de l'électrovanne commandée par le thermostat) : on résoud ainsi les deux problèmes de variations de températures, en fonction du temps et en fonction de la localisation des produits (figure 28). En effet, la température des produits varie très peu et elle est la même de la partie supérieure à la partie inférieure du conservateur puisque les variations de la température ambiante sont limités dans une zone de température très faible.

.../



CONSERVATEUR A -18° C

- PRODUITS
- AMBIANCE CONSERVATEUR
- AMBIANCE DEGAZAGE

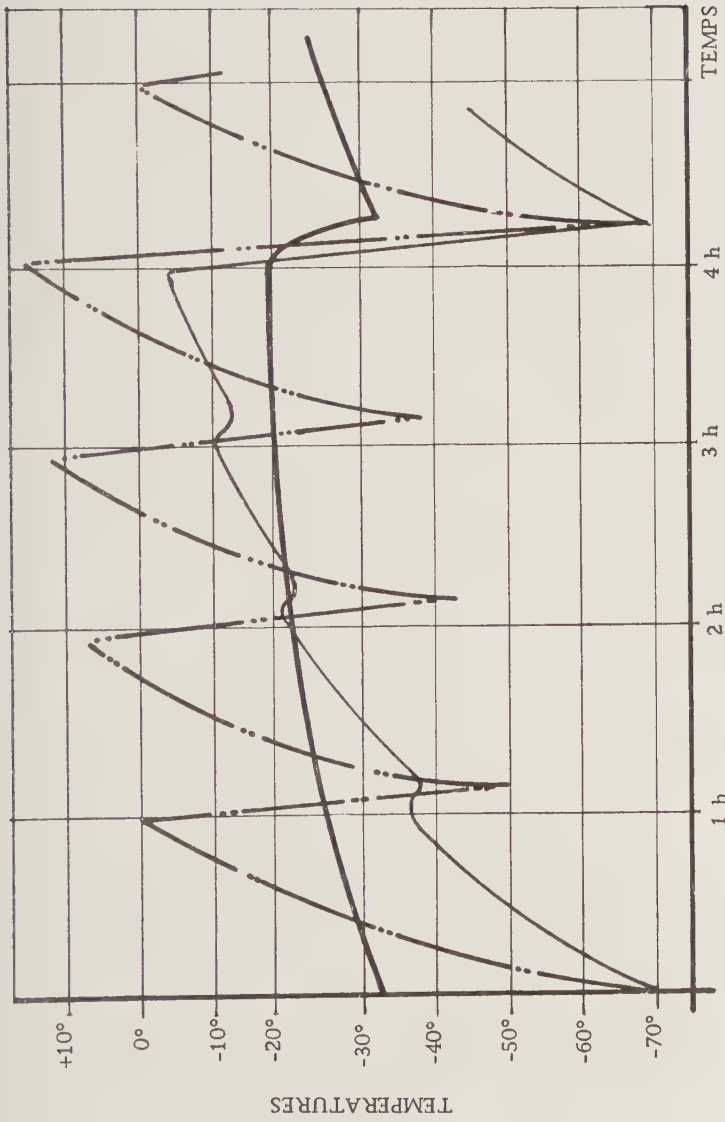
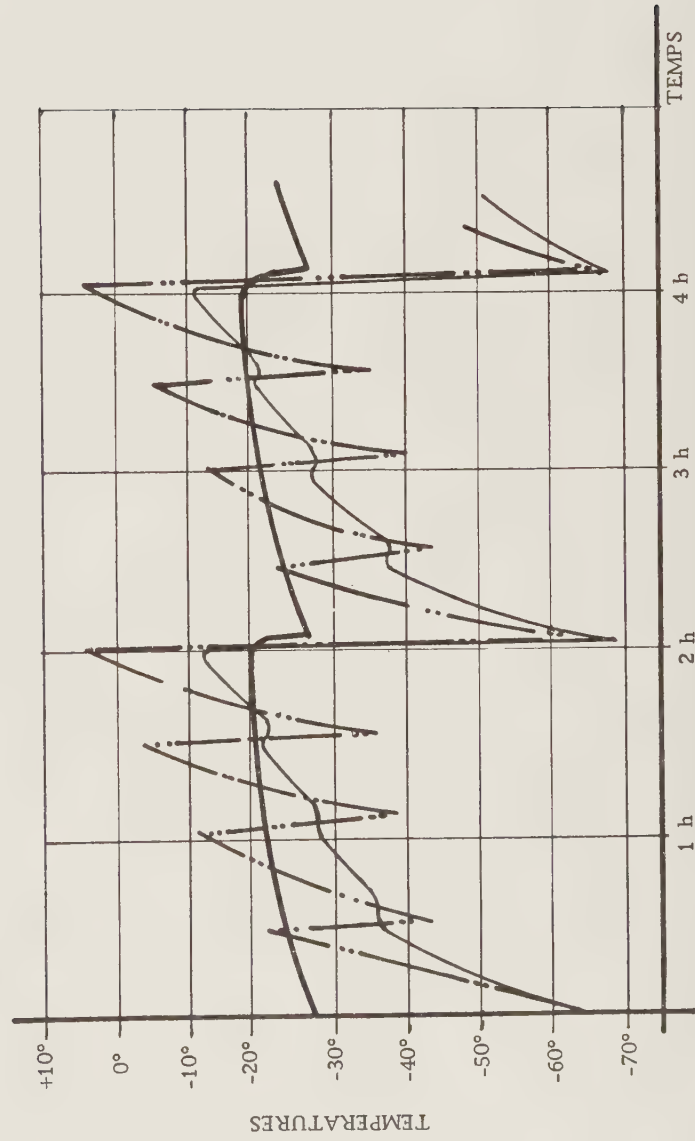


FIGURE 26





CONSERVATEUR A -50° C

— THERMOCOUPLE SUPERIEUR  
 - · - THERMOCOUPLE INFERIEUR

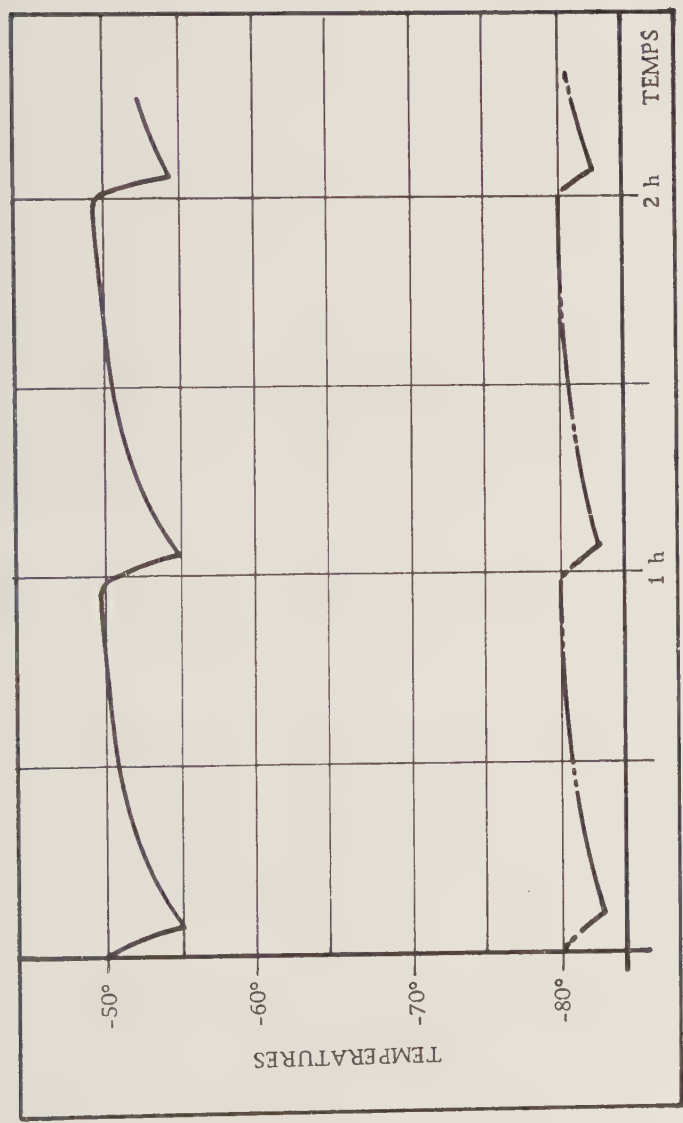
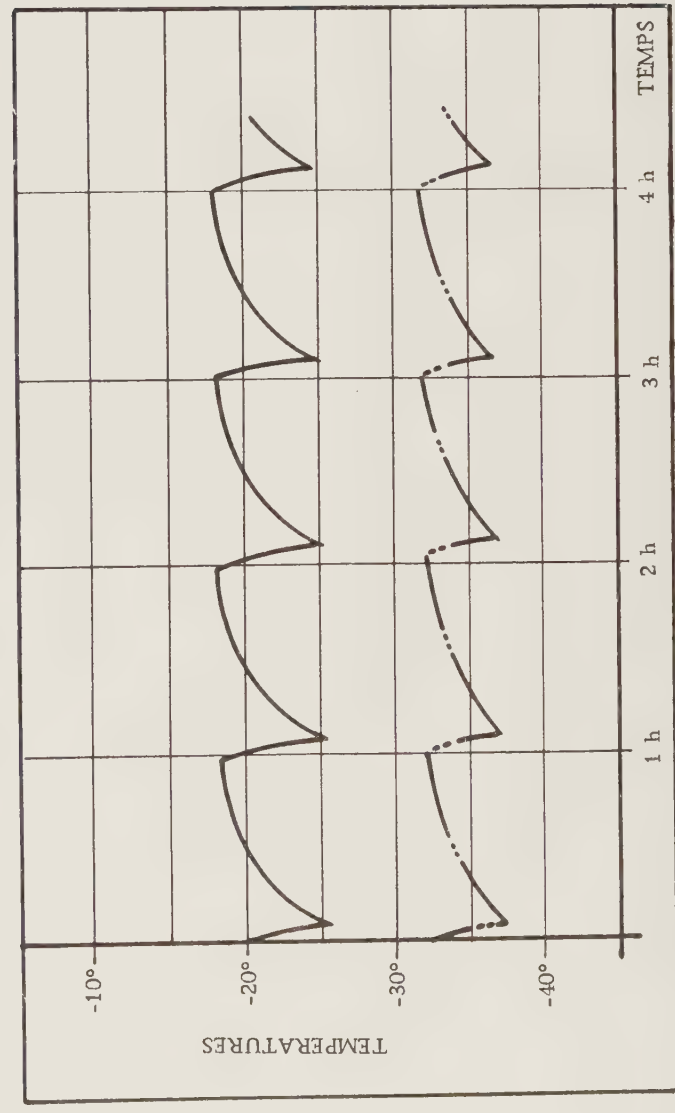
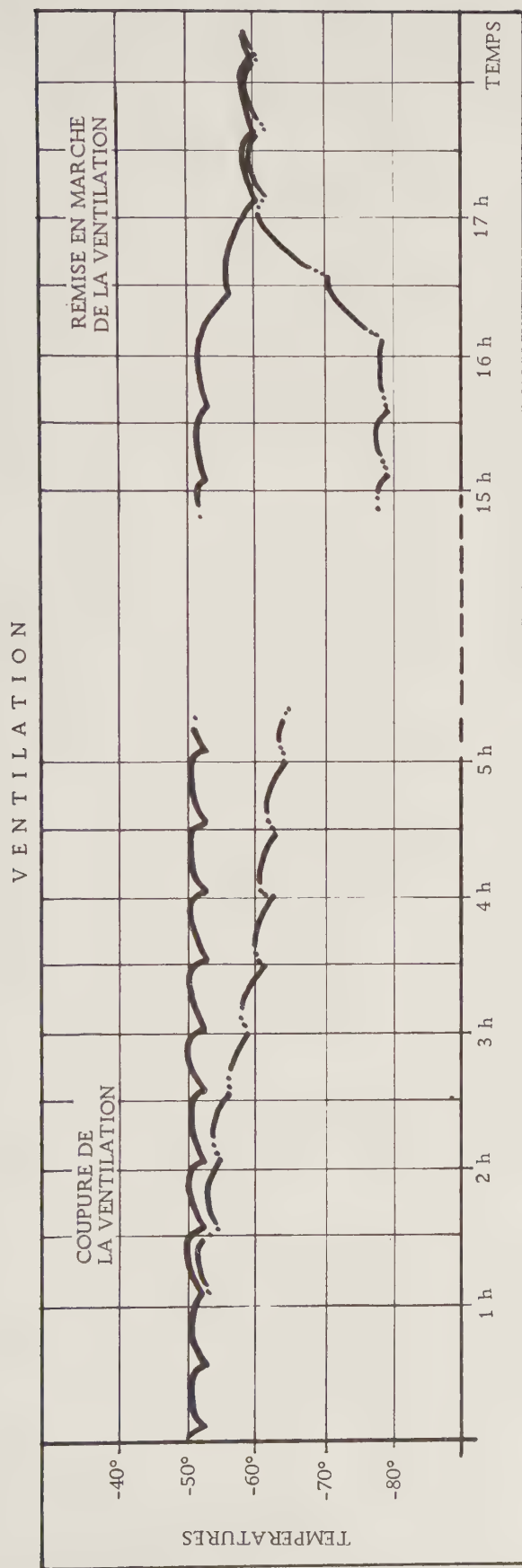


FIGURE 27

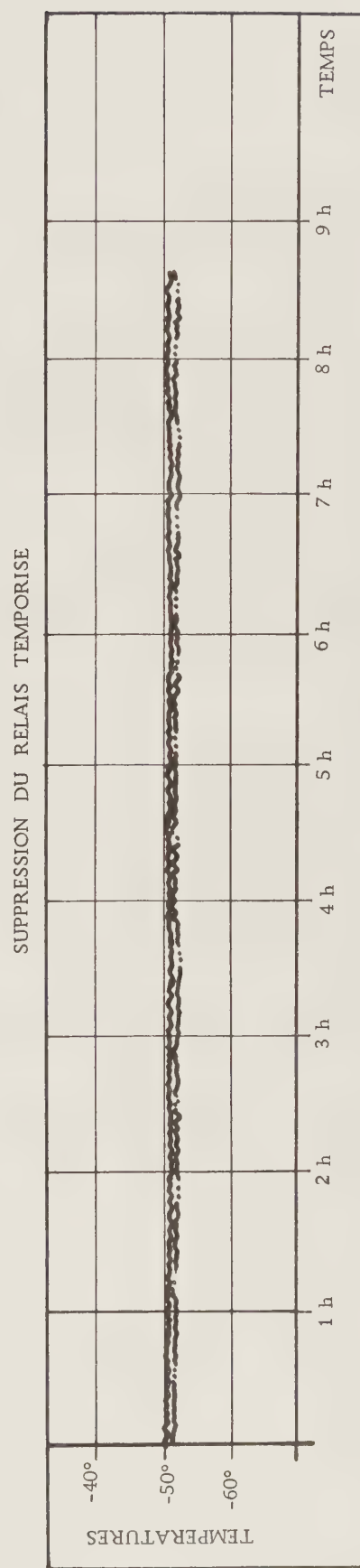






— THERMOCOUPLE SUPERIEUR  
 - - - THERMOCOUPLE INFERIEUR

FIGURE 28





## f) Le givrage dans les conservateurs

Nous avons constaté un givrage important dans les conservateurs (plus important d'ailleurs dans le conservateur à  $-50^{\circ}\text{C}$  que dans le conservateur à  $-18^{\circ}\text{C}$ ), givrage dû à deux causes distinctes:

D'une part, l'ouverture des couvercles provoque une aspiration forcée de l'air extérieur chargé d'humidité qui se dépose immédiatement sous forme de givre sur les parois du conservateur, sur les paniers de manutention, sur les cassolettes et les plats four.

D'autre part, la vapeur d'eau de l'air extérieur vient se piéger d'une manière continue par les tuyauteries de dégazage et c'est la source de givrage la plus importante.

La première source de givrage a été supprimée en fixant à la partie supérieure des conservateurs un système de couvercles coulissant dans un plan horizontal et permettant de dégager alternativement l'une ou l'autre moitié d'un conservateur, le couvercle isolant d'origine étant maintenu.

La deuxième source de givrage a été éliminée en supprimant les orifices de dégazage et de récupération d'azote gazeux provenant du congélateur, les tuyauteries étant maintenues en place, mais obturées par des bouchons de polystyrène expansé ; le dégazage des conservateurs se fait alors par le couvercle qui n'est pas absolument étanche, permettant ainsi une sortie de l'azote gazeux lorsque le conservateur est sous pression à la suite d'une aspersion d'azote liquide, mais interdisant une rentrée d'air humide.

Dans ces conditions, nous n'avons plus observé de givrage, le plus infime soit-il ; on peut d'ailleurs expliquer ce phénomène en le comparant à ce qui se produit dans un conservateur classique maintenu en froid par un système compresseur-évaporateur. Dans un conservateur classique, on connaît le phénomène de la "paroi froide" : les parois étant plus froides que les produits et l'air ambiant, on constate un début de lyophilisation des produits, une partie de leur eau venant se piéger sur les parois. Dans les grandes chambres froides, on évite cette dessiccation des produits en maintenant un degré hygrométrique élevé de l'air ambiant ; mais ce n'est pas le cas dans les conservateurs de faibles dimensions.

Il semble donc que le stockage des produits surgelés à l'azote liquide soit supérieur au stockage classique s'il n'entraîne pas une dessiccation des produits à long terme.

Lorsque nous avons affaire à un givrage important, nous procédons au dégivrage des conservateurs de la manière suivante : en arrosant les parois avec de l'eau chaude, puis en siphonnant l'eau accumulée dans le fond des cuves.

## 2°.- Bilan frigorifique des conservateurs.

### a) Fonctionnement avec les relais temporisés et dégazage par les tuyauteries

Les figures 25 et 26 montrent que lorsque le relais temporisé est réglé sur 4 minutes, il y a une injection par heure pour le conservateur à  $-50^{\circ}\text{C}$  et une injection toutes les 4 heures pour le conservateur à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

.../



Nous avons vu lors des mesures de débits pour la congélation, que le débit dans les canalisations est de 2 litres minute lorsque la pression du tank d'azote liquide est réglée sur 1 Kg/cm<sup>2</sup>. On peut estimer que les consommations sont les suivantes :

- conservateur à - 50° C : 8 litres/heure
- conservateur à - 18° C : 2 litres/heure.

b) Fonctionnement sans les relais temporisés et sans les tuyauteries de dégazage.

Le mode opératoire adopté est le même que celui qui a été utilisé pour les mesures de débits dans le congélateur, c'est-à-dire qu'un conservateur est alimenté par un tank de 110 litres d'azote liquide placé sur une bascule, une électrovanne commandée par le thermostat étant interposée entre le tank et le raccord isolé (relié au conservateur).

Les mesures donnent les résultats suivants :

- conservateur à - 50° C : 5,20 litres/heure
- conservateur à - 18° C : 2,10 litres/heure

Nous pouvons d'autre part estimer la consommation des conservateurs d'après la quantité d'azote liquide réellement consommée en une année d'expériences, du 1er mars 1963 au 1er mars 1964.

La consommation annuelle a été de 65.200 litres qui se répartissent ainsi :

- 7.200 litres pour la congélation
- 58.000 litres pour la conservation.

Les rentrées de chaleur par les parois étant proportionnelles à la différence de température existant entre la face interne et la face externe des conservateurs, peuvent être exprimées ainsi :

$$\text{- Conservateur à - 50° C} \quad Q_1 = K (t_1 - t_0)$$

$$\text{- conservateur à - 18° C} \quad Q_2 = K (T_2 - t_0)$$

$$t_1 = - 50° \text{ C}$$

$$t_2 = - 18° \text{ C}$$

$$t_0 = + 20° \text{ C (température ambiante du local)}$$

K = coefficient global d'isolation, identique pour les deux conservateurs.

$$Q_1 = K \times 70$$

$$Q_1 / Q_2 = 1,84$$

$$Q_2 = K \times 38$$



Théoriquement, les 58.000 litres de la consommation annuelle se répartissent donc ainsi :

- conservateur à - 50° C = 37.600 litres
- conservateur à - 18° C = 20.400 litres

Le tableau suivant compare les consommations mesurées ou estimées des deux conservateurs :

|                         |         | Conservateur à - 50° | Conservateur à - 18° |
|-------------------------|---------|----------------------|----------------------|
| consommation<br>horaire | mesurée | 5,2                  | 2,1                  |
|                         | estimée | 4,3                  | 2,3                  |

La précision des mesures n'est pas satisfaisante, mais on peut conclure sans aucune hésitation que ces consommations sont beaucoup trop élevées et que si l'on devait concevoir une conservation à l'azote liquide sur un plan industriel, il faudrait les réduire considérablement.

Enfin, on voit que la suppression des tuyauteries de dégazage a pratiquement réduit la consommation de moitié pour le conservateur à - 50° C.

### 3°.- Conditions de conservation

Trois faits principaux que nous analyserons en détail dans le chapitre III sont ressortis de nos expériences :

- a) la conservation à basse température ( - 50° C) permet un blocage complet des réactions enzymatiques.
- b) La conservation en ambiance neutre (azote gazeux) élimine toute oxydation des produits.

Les tests organoleptiques qui seront traités plus loin ont montré d'une façon incontestable que la conservation des aliments était supérieure dans l'ordre décroissant suivant :

- - 50° C en ambiance neutre
- - 18° C en ambiance neutre
- - 18° C en ambiance oxydante (méthode utilisée classiquement dans l'industrie de la surgélation alimentaire).



- c) Nous avons pensé que pour certaines denrées telles que les rôtis de viande ou de volailles froides utilisés pour les repas froids servis à bord (assiette anglaise) nous pourrions éviter de les mettre en surgélation et les conserver seulement sous sacs plastique (cryovac) dans lesquels un vide relatif aurait été produit avec adjonction d'azote gazeux.

Des essais ont été faits, mais si cette méthode permettait d'éviter les brunissements des viandes par oxydation, les problèmes bactériologiques ne furent pas résolus pour autant compte tenu que des bactéries anaérobies continuaient à se développer à l'abri de l'air.

Devant ces résultats négatifs, nous sommes allés jusqu'à traiter ces viandes froides dans les laboratoires de SACLAY en les irradiant par des rayons gamma (un million de rad).

Si les aspects bactériologiques étaient résolus, les aspects organoleptiques ne l'étaient plus :

- un brunissement se formant du fait de production d'ozone par irradiation de l'oxygène,
- de l'impossibilité de se livrer à des dégustations ne sachant en l'état actuel des connaissances si ces produits étaient nocifs pour l'organisme non pas par risque de radioactivité mais de crainte qu'ils soient cancérogènes (les radicaux libres irradiés pourraient donner des substances cancérogènes).

Devant l'intérêt malgré tout de trouver une solution pour mettre en place dans les escales ces viandes froides représentant une très grosse partie de notre production en classe touriste, des essais de surgélation et de conservation ont été faits selon la méthode décrite plus haut qui a donné d'excellents résultats.

## D.- LE TRANSPORT

Les produits surgelés conservés dans les conditions indiquées ci-dessus et stockés pendant une durée plus ou moins longue (pouvant aller jusqu'à quelques mois) doivent être transportés sans que la température ambiante monte au-delà de celle de conservation ( - 50° C).

Il fallait donc étudier des containers de transport plus adaptés et d'un coût moins élevé que ceux que nous utilisons actuellement avec du carboglace, compte tenu des données suivantes :

### 1°.- Les données du problème

Trois facteurs interviennent pour opérer ce transport dans les meilleures conditions possibles :

#### a) La température d'embarquement

Elle sera, en principe, de - 50° C puisque les plats seront conservés à cette température, mais, si cela est nécessaire, on pourra donner un "volant de froid" à la masse des plats embarqués par une post-surgélation à l'azote liquide pouvant aller jusqu'à - 196° C sans que le produit soit dégradé étant donné qu'à - 50° C il a une rigidité absolue.



b) Les conditions du transport

Le transport sera effectué dans les soutes des avions en service :

- pour le Boeing : soute arrière ventrale pressurisée mais non chauffée
- pour la Caravelle, soute ventrale ou soute cabine arrière,
- avions conventionnels, cargo sur les lignes où ils sont en exploitation.

Les temps globaux d'embarquement, de vol et de débarquement peuvent varier de 4h. à 31h. suivant les faisceaux et dans l'état actuel des procédures comme le montre le tableau suivant :

| DUREE TOTALE TRANSPORT |            |                          |                              |             |
|------------------------|------------|--------------------------|------------------------------|-------------|
|                        | En vol     | Au sol<br>: temps escale | Délai départ et<br>: arrivée | Temps total |
| RIO DE JANEIRO         | 12 h       | 1 h                      | 1,50 + 1                     | 15,50       |
| POINTE A PITRE         | 9,30       | 1                        | 1,50 + 1                     | 13,20       |
| DAKAR                  | 6,15       | 0,35                     | 1,50 + 1                     | 9,40        |
| BANGKOK                | 12,40      | 3,10                     | 1,50 + 1                     | 18,40       |
| TEHERAN                | 6          | 1,10                     | 1,50 + 1                     | 10          |
| TEL AVIV               | B 4,35     | 1,10                     | 1,50 + 1                     | 8,35        |
|                        | C 5,10     | 0,35                     | 2,10 + 1                     | 8,55        |
| HONG-KONG              | 16         | 5,10                     | 1,50 + 1                     | 24          |
| ALGER                  | C 2,10     | -                        | 2,10 + 1                     | 5,20        |
|                        | Brég. 4,50 | 1,15                     | 1,50 + 1                     | 8,55        |
| ANCHORAGE              | 14,25      | 1                        | 1,50 + 1                     | 18,15       |
| MARSEILLE              | B 1,05     | -                        | 1,50 + 1                     | 3,55        |
|                        | C 1,15     | -                        | 2,10 + 1                     | 4,25        |
| MOSCOU                 | 4,25       | 0,40                     | 2,10 + 1                     | 8,15        |
| ATHENES                | B 2,50     | -                        | 1,50 + 1                     | 5,40        |
|                        | C 3,45     | 0,45                     | 2,10 + 1                     | 7,40        |
| NICE                   | 1,20       | -                        | 2,10 + 1                     | 4,30        |
| CASABLANCA             | C 3,30     | 0,40                     | 2,10 + 1                     | 7,20        |
|                        | Sup 4,45   | -                        | 1,50 + 1                     | 7,35        |
| NAIROBI                | 9,35       | 1,40                     | 1,50 + 1                     | 14,05       |
| TANANARIVE             | 13         | 3,15                     | 1,50 + 1                     | 19,05       |
| LISBONNE               | B 2,10     | -                        | 1,50 + 1                     | 5           |
|                        | C 2,30     | -                        | 2,10 + 1                     | 5,40        |
| BUENOS AYRES           | 16,05      | 1/7 2,45                 | 1,50 + 1                     | 21,40       |
|                        |            | 1/7 0,55                 |                              | 19,50       |
| LIMA                   | 15,30      | 4,10                     | 1,50 + 1                     | 22,30       |
| MANILLE                | 16,10      | 5,10                     | 1,50 + 1                     | 24,10       |
| TOKIO                  | :Pdl 22,05 | 2                        | 1,50 + 1                     | 26,55       |
|                        | :Sud 21,05 | 6,20                     |                              | 30,15       |
| LOS ANGELES            | 13,15      | 1                        | 1,50 + 1                     | 17,05       |
| CHICAGO                | 9,35       | 1                        | 1,50 + 1                     | 13,25       |
| MONTREAL               | 7,30       | -                        | 1,50 + 1                     | 10,20       |
| MEXICO                 | 13         | 1,30                     | 1,50 + 1                     | 17,20       |



### c) La conservation en escales

Dans les meilleures conditions d'exploitation :

- fréquences importantes,
- pas d'irrégularités,

les denrées surgelées mises en place devraient pouvoir être dégelées et remises dans le même appareil pour le sens retour.

Ces conditions d'exploitation ne pouvant pas toujours être obtenues, il est nécessaire de prévoir des conservateurs classiques à  $-18^{\circ}\text{C}$  en escales, jouant le rôle de volant de sécurité.

Idéalement, pour maintenir une chaîne du froid constante, il aurait été souhaitable que ces conservateurs soient à  $-50^{\circ}\text{C}$ , mais étant donné le peu de temps de stockage envisagé, même en cas d'irrégularités, nous nous proposons de faire l'impasse pour des raisons économiques d'achat et d'exploitation.

## 2°.- Conception et réalisation des containers de transport

### a) Généralités

Pour un container déterminé, contenant une masse  $M$  de plats surgelés, les rentrées de chaleur par les parois représentent, pour un temps donné  $T$ , une quantité  $Q$ .

Au temps 0, la température des plats sera .....  $t_1$

Au temps  $T$ , la température des plats sera .....  $t_2$

soit  $c$ , la chaleur spécifique des plats surgelés,

Nous avons l'équation suivante :

$$Q = Mc (t_1 - t_2)$$

ou

$$(t_1 - t_2) = \frac{Q}{Mc}$$

Cette équation nous montre que nous pouvons agir sur plusieurs paramètres pour la réaliser :

- diminuer  $Q$  en augmentant l'isolation,
- augmenter  $M$  en augmentant le volume du container
- augmenter  $(t_1 - t_2)$  en abaissant la température de départ  $t_1$ .

Nous avons choisi pour le paramètre  $M$  sa valeur maximum admissible, car nous étions limités par deux facteurs :

.../



- les dimensions de la porte des soutes arrière des avions Boeing et Caravelle, prévoyant des dimensions différentes suivant les deux types d'appareils,
  - les possibilités de manutention en escales,
- soit pour un container faisant 30 Kgs de tare, une masse M maximum de 60 Kgs de produits surgelés.

Nous avons choisi trois types d'isolants :

- la mousse de polystyrène expansé de densité 20 K/M3,
- la mousse de polyuréthane expansé de densité 40K/M3.
- le Klegecell

Le deuxième isolant a l'avantage de pouvoir s'expanser "in situ" aux conditions normales de température et de pression, ce qui ne nécessite pas, pour une petite série, l'acquisition d'un moule onéreux, alors que des containers avec le premier isolant ne peuvent être réalisés qu'avec des panneaux collés.

Pour obtenir des containers résistants à des chocs mécaniques, nous avons choisi deux solutions pour les "armer" :

- une armature en aluminium
- une armature en polyester stratifié.

#### b) Réalisation de prototypes

Les prototypes ont été réalisés, soit à l'extérieur par des entreprises spécialisées, soit par nos soins.

Tous les containers étudiés ont les mêmes dimensions intérieures et le même volume utile :

- largeur ..... 48 cm
- longueur ..... 63 cm
- hauteur ..... 53 cm
- volume utile ..... 0,16 m3

La figure 29 montre les cotes d'un container réalisé avec un isolant de 10 cm d'épaisseur.

Voici la liste et les caractéristiques des contenants étudiés :

- 1 carton : qualité "double double" (appellation commerciale) - charge maximum 60 Kgs - dimensions 42 cm x 42 cm x 55 cm.
- 2 container nu : panneaux de polystyrène collés, de 5cm d'épaisseur.
- 3 container nu : panneaux de polystyrène collés, de 10 cm d'épaisseur.
- 4 container DAGARD : panneaux de polystyrène collés de 10 cm d'épaisseur. Habillage intérieur et extérieur en aluminium.



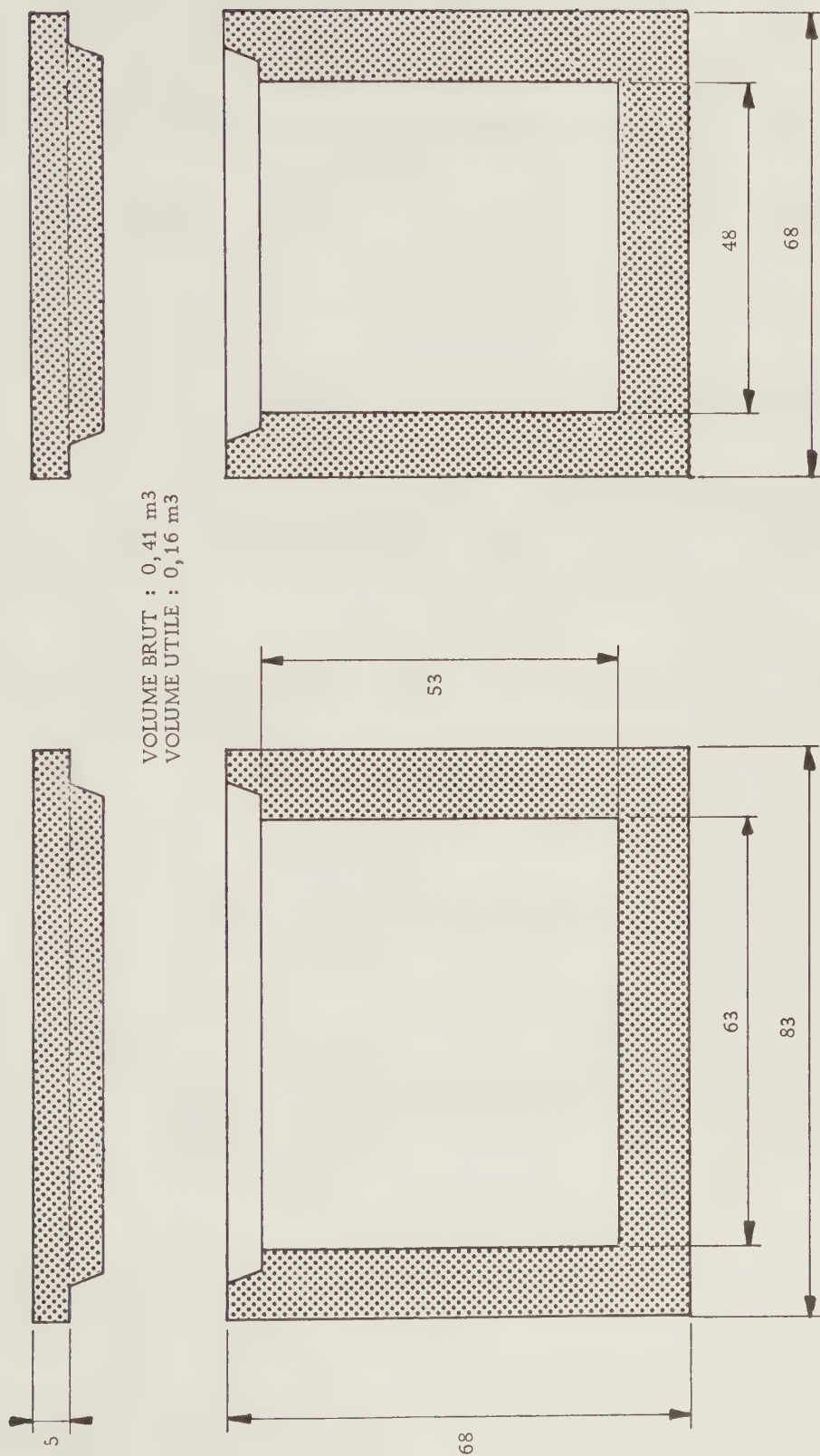


FIGURE 29



- 5 container AF I : panneaux de polystyrène collés, de 15 cm d'épaisseur. Habillage intérieur et extérieur en aluminium.
- 6 container ZHENDRE : panneaux de polystyrène collés, de 10 cm d'épaisseur. Habillage intérieur et extérieur
- 7 container FOURNEY : panneaux de Klegecell collés, de 10 cm d'épaisseur. Habillage en polyester stratifié.
- 8 container STAMP : panneaux de polystyrène collés, de 10 cm d'épaisseur. Habillage en polyéthylène basse pression.
- 9 container AF II : polyméthane expansé in situ. Habillage en aluminium. (Figure 24 bis)

### 3°.- Essais au sol

#### a) Résultats

Tous les containers ont résisté au choc thermique, sauf le container STAMP dont l'habillage qui était constitué par deux cuves en polyéthylène basse pression, a craqué.

Considérant que la chaleur spécifique de la purée était sensiblement la même que celle des plats cuisinés, nous avons déterminé l'évolution thermique des containers chargés avec des cassolettes et des plats four contenant de la purée. Des thermocouples logés à cœur dans les cassolettes de purée surgelés étaient reliés au potentiomètre enregistreur.

#### 1er exemple :

La figure 30 montre l'évolution thermique de plats surgelés emballés dans un carton dans les conditions suivantes :

- poids du carton ..... 2,200 Kgs
- poids des plats surgelés ..... 35,800 Kgs
- température ambiante ..... + 20° C

Un deuxième essai a été fait dans les mêmes conditions, mais en ajoutant 25 plaquettes de carboglace, soit 10 Kgs.

#### 2ème exemple :

La figure 31 montre l'évolution thermique de plats surgelés installés dans des containers nus réalisés avec des panneaux de polystyrène collés respectivement de 5 à 10 cm d'épaisseur :

.../



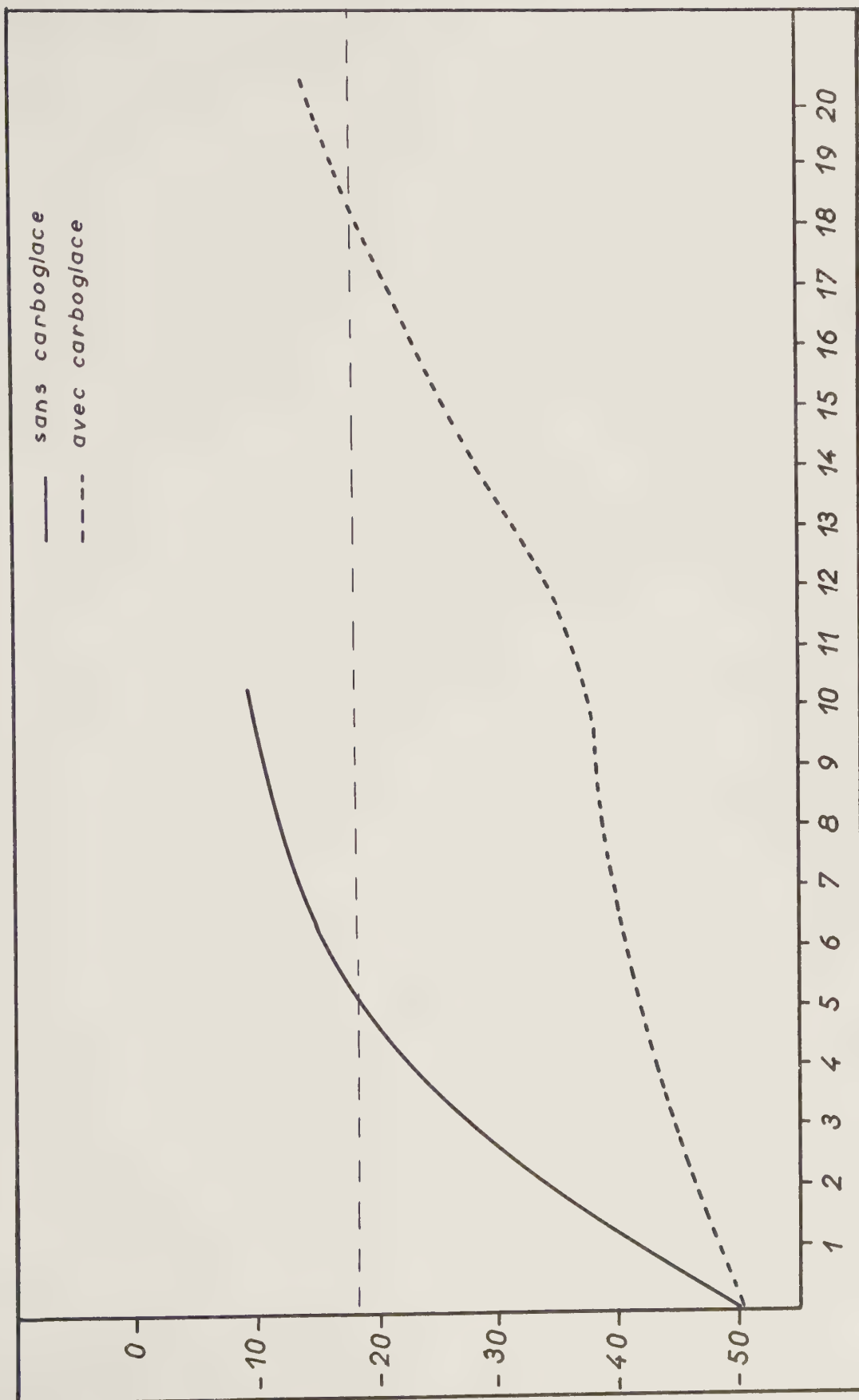


FIGURE 30



— 5cm de Polystyrène expansé  
 --- 10cm de Polystyrène expansé

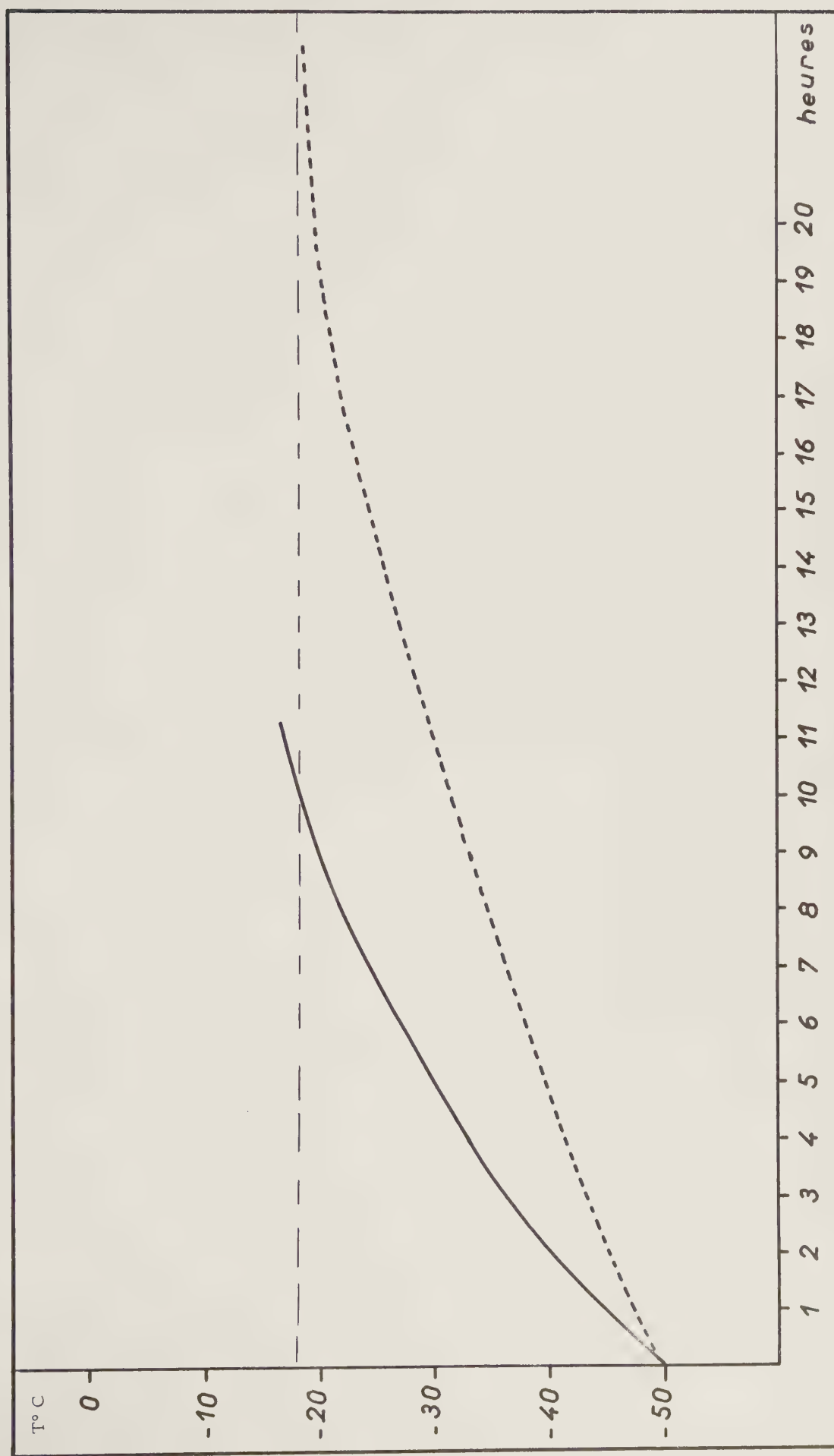


FIGURE 31



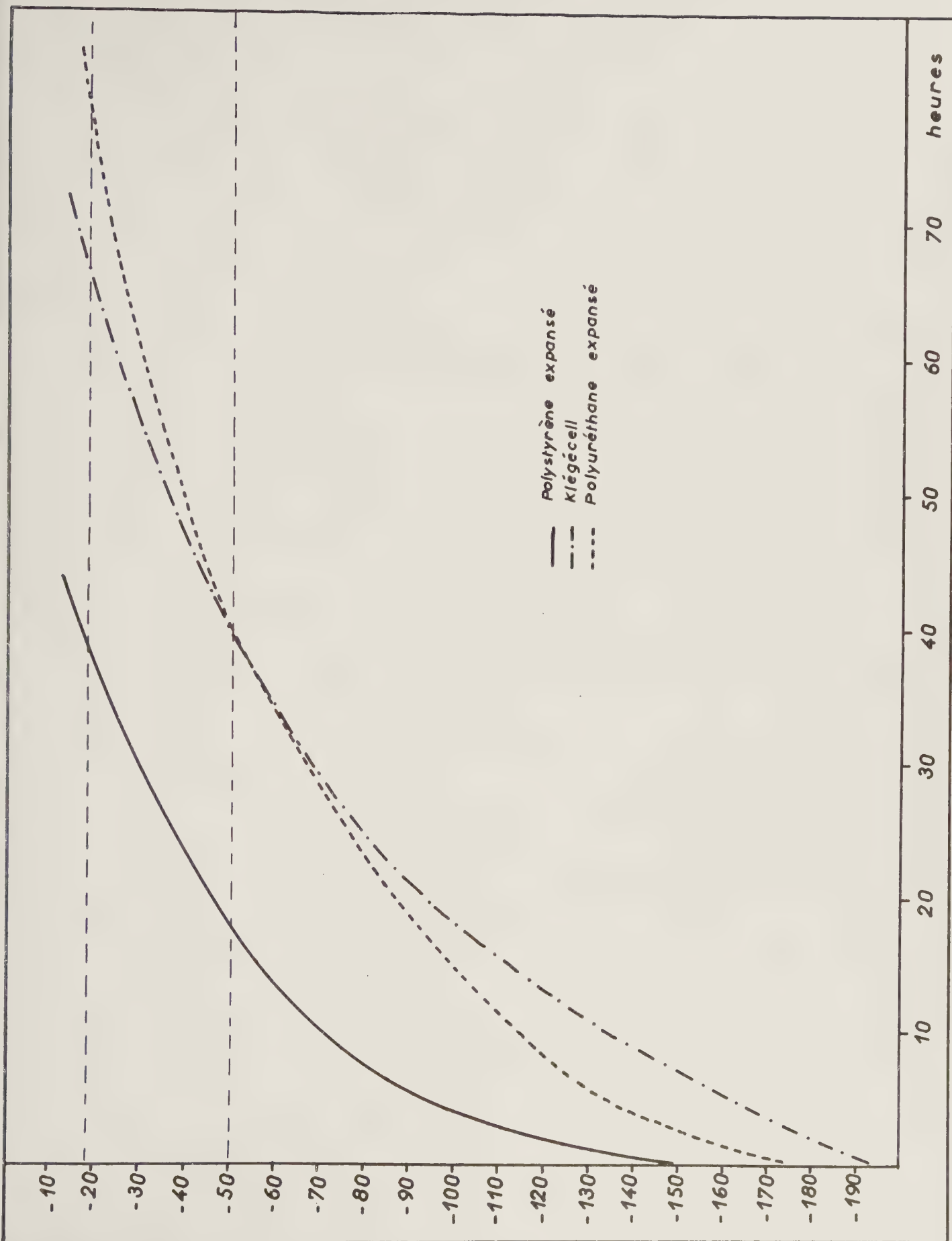


FIGURE 32



- épaisseur de l'isolant ..... 5cm ..... 10 cm
- poids de l'isolant ..... 1,700 Kg ..... 3,700 Kg
- poids des plats surgelés ..... 27 Kgs ..... 27 Kgs
- température ambiante ..... + 20° C ..... + 20° C

### 3ème exemple :

La figure 32 montre l'évolution thermique de plats surgelés emballés dans trois containers réalisés avec des matériaux isolants différents :

|                            | DAGARD            | FOURNEY        | AF II        |
|----------------------------|-------------------|----------------|--------------|
| - isolant .....            | polystyrène ..... | Klegecell..... | Polyuréthane |
| - poids du container ..... | 45 Kgs .....      | 35 Kgs .....   | 31 Kgs       |
| - poids des plats surgelés | 35,800 Kgs.....   | 35,800 Kgs ... | 35,800 Kgs   |
| - température ambiante ... | + 20° C .....     | + 20° C .....  | + 20° C      |

### 4ème exemple :

Nous avons comparé l'évolution thermique du container AF II chargé avec des poids différents de plats surgelés :

| CHARGE | Temps            |                  |                   |
|--------|------------------|------------------|-------------------|
|        | de - 196° à -50° | de - 50° à - 18° | de - 196° à - 18° |
| 34 Kg  | 36 h.            | 44 h.            | 80 h.             |
| 38 Kg  | 38 h.            | 46 h.            | 84 h.             |
| 45 Kg  | 41 h.            | 49 h.            | 90 h.             |

Le tableau suivant récapitule ces résultats :



| Type de l'emballage                                                                                   | Poids<br>à vide | Poids<br>purée | Poids<br>contenant       | Poids<br>total   | Temps<br>- 196° C<br>à - 18° C | Temps<br>- 50° C<br>à - 18° C | Prix H. T.<br>et<br>observations                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| VAUTIER LACROIX - AF 1<br>habillage Durai sur<br>panneaux 15 cm polystyrène                           | 37 Kg<br>37 Kg  | 27 Kg<br>34 Kg | Pyrex 46 Kg<br>Alu 1,800 | 110 Kg<br>72,800 | 44 h<br>46 h                   | 22 h<br>23 h                  | 456 F métal<br>95 F coffre moulé<br>551 F + 70 outillage = 621 F |
| DAGARD<br>Habillage tôle sur panneaux                                                                 | 45 Kg           | 34 Kg          | Alu 1,800                | 80,800           | 38 h                           | 20h                           | 396 F - 80                                                       |
| STAMP                                                                                                 | 60 Kg           | 45 Kg          | 2 Kg                     | 107 Kg           | 54 h                           | 26 h                          |                                                                  |
| ZHENDE                                                                                                | 65 Kg           | 28 Kg          | Alu 1,500                | 96,500           | 27 h                           | 17 h                          | 735 F                                                            |
| Carton PAA                                                                                            | 2,400 Kg        | 25 Kg          | Alu 1,500                | 29 Kg            | -                              | 6 h                           | -                                                                |
| Carton AF                                                                                             | 2,200 Kg        | 34 Kg          | Alu 1,800                | 37 Kg            | -                              | 5 h                           | -                                                                |
| Carton AF + 15 plaquettes Carbo                                                                       | 2,200 Kg        | 34 Kg          | Alu 1,800                |                  | -                              | 14 h                          | -                                                                |
| Conteneur nu plaques de 10 cm<br>polystyrène collé                                                    | 3,700 Kg        | 27 Kg          | Pyrex 46 Kg              | 76,700           | -                              | 15 h                          | 95 F moulé, outillage 7,000 F                                    |
| Conteneur nu plaques de 5 cm<br>polystyrène collé                                                     | 1,700 Kg        | 27 Kg          | Pyrex 46 Kg              | 74,700           | 23 h                           | 9 h 30                        | -                                                                |
| Conteneur FOURNEY KLEGECELL<br>et polyester moulé extérieur                                           | 35 Kg           | 34 Kg          | 1,800                    |                  | 63 h                           | 27 h                          | 800 F départ VOUHAS (Alu)                                        |
| VAUTIER LACROIX - AF 11<br>Habillage durai sur<br>poluréthane expansé<br>directement dans l'enveloppe | 31 Kg           | 34 Kg<br>38 Kg | 1,800<br>2 Kg            | 66,800<br>71 Kg  | 80 h<br>84 h                   | 44 h<br>46 h                  |                                                                  |
|                                                                                                       |                 | 45 Kg          | 2 Kg                     | 78 Kg            | 90 h                           | 49 h                          |                                                                  |



## b) Conclusions

Le 1er exemple montre que la carboglace permet le transport dans des conditions de sécurité pendant une vingtaine d'heures alors que le carton seul donne seulement une autonomie de 5 heures.

Mais le carton isolé et la carboglace constituent un moyen très onéreux de transport comme le montrent les chiffres suivants :

Pour l'expédition de plats surgelés nécessaires aux passagers d'un Boeing, il faut avoir soit un container, soit les fournitures suivantes :

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 2 cartons .....           | 5,20 Fr |
| Polystyrène expansé ..... | 9,88    |
| Rouleau de scotch .....   | 5,66    |
| Carboglace 20 Kg .....    | 15,60   |
|                           | <hr/>   |
|                           | 36,34   |

Pour qu'un container soit rentable, il faut donc, en comptant 20% de pertes et de réforme par an, c'est-à-dire en comptant un amortissement sur 5 ans, qu'il fasse plus de 20 voyages pour un prix de 700 Frs. Ces conditions étant remplies, le container est donc intéressant, à la fois sur le plan thermique et sur le plan économique ; il présente par contre l'inconvénient d'immobiliser un certain volume en soute pour les retours sur ORLY, et il ne présente pas la même souplesse d'exploitation que le carton.

Le 2ème exemple montre que pour le volume utile donné ( 0,16 m<sup>3</sup>) et pour une charge de 27 Kgs de produits surgelés, on double la durée du transport en doublant l'épaisseur de l'isolant de 5 à 10 cm.

Le 3ème exemple confirme que le polystyrène expansé est moins bon isolant que le polyuréthane et le Klegecell.

De plus, si le Klegecell est meilleur isolant que le polyuréthane aux températures inférieures à - 70° C, c'est le polyuréthane qui donne le meilleur résultat aux températures supérieures à - 70° C.

Mais puisque nous travaillerons le plus fréquemment dans la zone de températures comprise entre - 50° C et - 18° C, nous devons préférer le polyuréthane au Klegecell.

Enfin, le 4ème exemple montre que si on augmente la masse des produits surgelés, on augmente la durée possible du transport suivant une loi sensiblement linéaire.

.../



#### 4°.- Essais en vol

Nous avons recherché quelle était l'influence de la température ambiante en soute et aux arrêts dans les escales, sur l'évolution des températures des plats surgelés, par rapport aux essais réalisés au sol.

Les essais ont également porté sur l'influence du degré hygrométrique en soute sur le givrage des parois externes des containers.

##### a) L'évolution thermique

A cet effet, le Boeing immatriculé BHSF a été équipé d'un cablage multiconducteur entre la soute arrière et le galley arrière.

En soute, ce cablage est terminé par une prise fixe sur laquelle vient se raccorder un faisceau de thermocouples logés à coeur dans les plats surgelés.

Au galley, ce cablage est terminé par une plaque à bornes à cinq directions ; un galvanomètre alimenté par une pile de 6 volts permet de lire, en branchant successivement les cinq directions, les températures des cinq thermocouples situés en soute (figures 10 et 34).

Ce cablage a été testé en plaçant les différents couples en soute à des températures de référence : glace fondante à 0° C et la température d'ébullition de l'azote liquide à - 196° C. Les températures lues en cabine sur le galvanomètre correspondaient, au demi degré près, aux températures réelles, ce qui peut être considéré comme satisfaisant pour l'étude envisagée.

##### 1er exemple : Essai sur le parcours PARIS/BANGKOK

Le container (prototype AF 11) était chargé de la manière suivante :

- 12 plats four dont : 6 " Filet de boeuf jurassienne "
- 4 " Carré de veau nancéenne "
- 2 " Palets de pomme de terre "
- 8 légumiers : "salsifis au gratin "
- 114 cassolettes " Noix de veau nancéenne "

Le poids du container chargé était de 82,500 Kgs et le poids des plats surgelés embarqués était de 51,500 Kgs.

Le tableau suivant donne les températures enregistrées durant le vol et les températures enregistrées au sol avec le même chargement (figure 35).



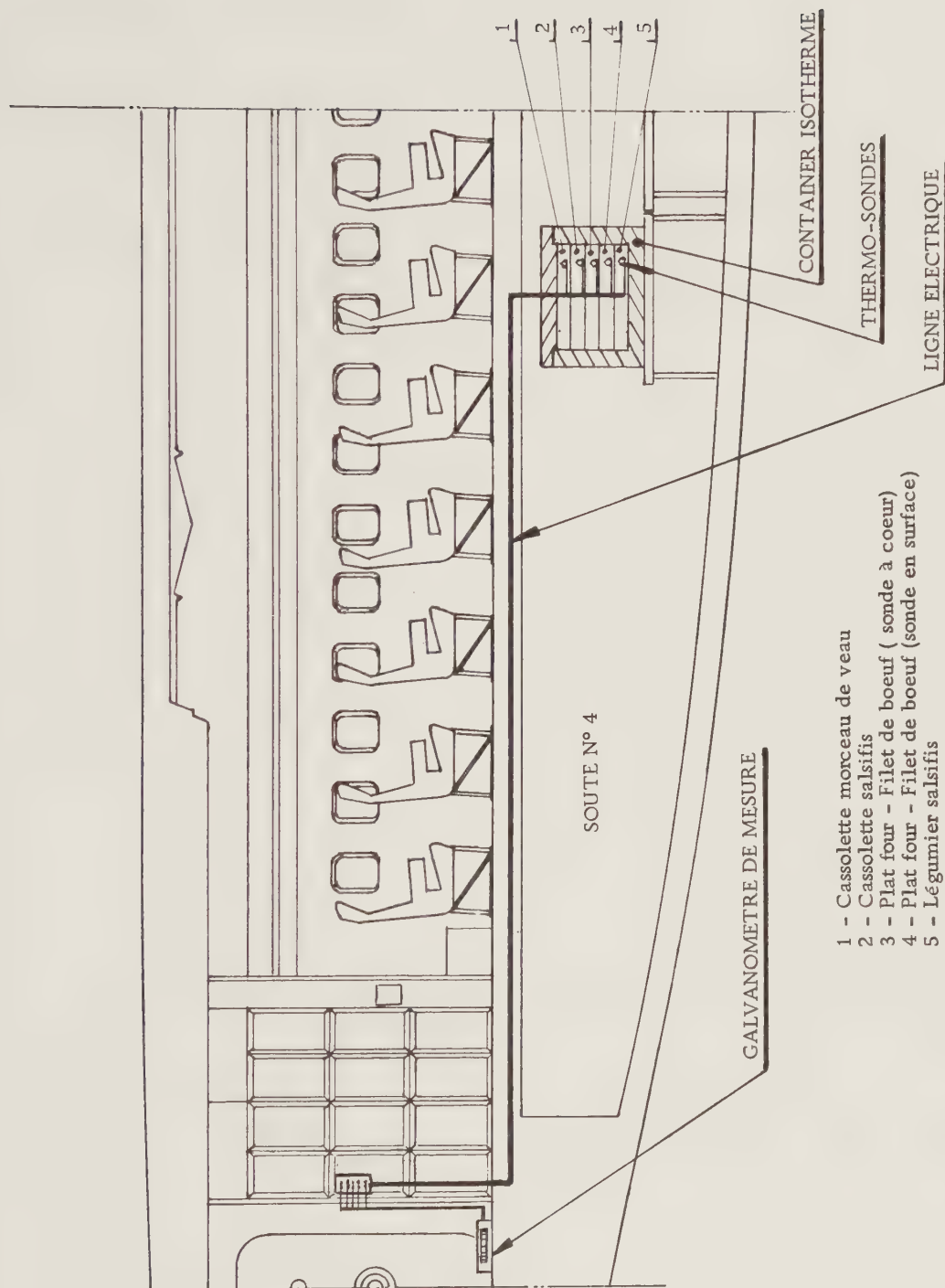


FIGURE 34



| Date et heure<br>locale ORLY | Temps  | Parcours   | Températures enregistrées en vol |        |        |        |        | Températures<br>enregistrées<br>au sol |
|------------------------------|--------|------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------------------|
|                              |        |            | S O N D E S                      |        |        |        |        |                                        |
|                              |        |            | N° 1                             | N° 2   | N° 3   | N° 4   | N° 5   |                                        |
| Mercredi 8.1.64:             |        |            |                                  |        |        |        |        |                                        |
| 14 h.                        | 0      | Orly       | - 170°                           | - 170° | - 170° | - 170° | - 170° | - 170°                                 |
| Jeudi 9.1.64                 |        |            |                                  |        |        |        |        |                                        |
| 11h.15                       | 21h.15 | Paris/     | - 102°                           | - 100° | - 100° | - 102° | - 102° | - 102°                                 |
| 12h.35                       | 22h.35 | Athènes    | - 99°                            | - 97°  | - 97°  | - 97°  | - 98°  | - 97°                                  |
| 13h.10                       | 23h.10 |            | - 97°                            | - 97°  | - 97°  | - 97°  | - 95°  | - 93°                                  |
|                              |        |            |                                  |        |        |        |        |                                        |
| 14h.40                       | 24h.40 | Athènes/   | - 92°                            | - 92°  | - 91°  | - 91°  | - 90°  | - 89°                                  |
| 15h.25                       | 25h.25 | Téhéran    | - 91°                            | - 90°  | - 90°  | - 90°  | - 89°  | - 88°                                  |
| 16h.20                       | 26h.20 |            | - 90°                            | - 89°  | - 89°  | - 89°  | - 88°  | - 86°                                  |
|                              |        |            |                                  |        |        |        |        |                                        |
| 19h.                         | 29h.   | Téhéran/   | - 86°                            | - 85°  | - 84°  | - 84°  | - 84°  | - 81°                                  |
| 20h.45                       | 30h.45 | New-Delhi  | - 83°                            | - 82°  | - 82°  | - 82°  | - 82°  | - 78°                                  |
| 21h.15                       | 31h.15 |            | - 82°                            | - 80°  | - 80°  | - 80°  | - 80°  | - 76°                                  |
|                              |        |            |                                  |        |        |        |        |                                        |
| 22h.                         | 32h.   | New-Delhi/ | - 80°                            | - 79°  | - 79°  | - 79°  | - 79°  | - 75°                                  |
| 23h.40                       | 33h.40 | Bangkok    | - 78°                            | - 76°  | - 76°  | - 75°  | - 76°  | - 72°                                  |
| 1h.                          | 34h.   |            | - 77°                            | - 74°  | - 74°  | - 74°  | - 74°  | - 71°                                  |
| 1h.25                        | 35h.25 |            | - 76°                            | - 73°  | - 73°  | - 72°  | - 72°  | - 69°                                  |

Légende : Sonde N° 1 : cassolette ..... Morceau de veau  
 N° 2 : " ..... Salsifis  
 N° 3 : Plat-four ..... Filet de Boeuf (sonde à cœur)  
 N° 4 : " ..... Filet de Boeuf (sonde en surface)  
 N° 5 : Légumier ..... Salsifis

On voit que les températures des 5 thermocouples sont sensiblement les mêmes et que les températures enregistrées en vol sont très comparables aux températures enregistrées au sol avec le même chargement dans le même container.

.../



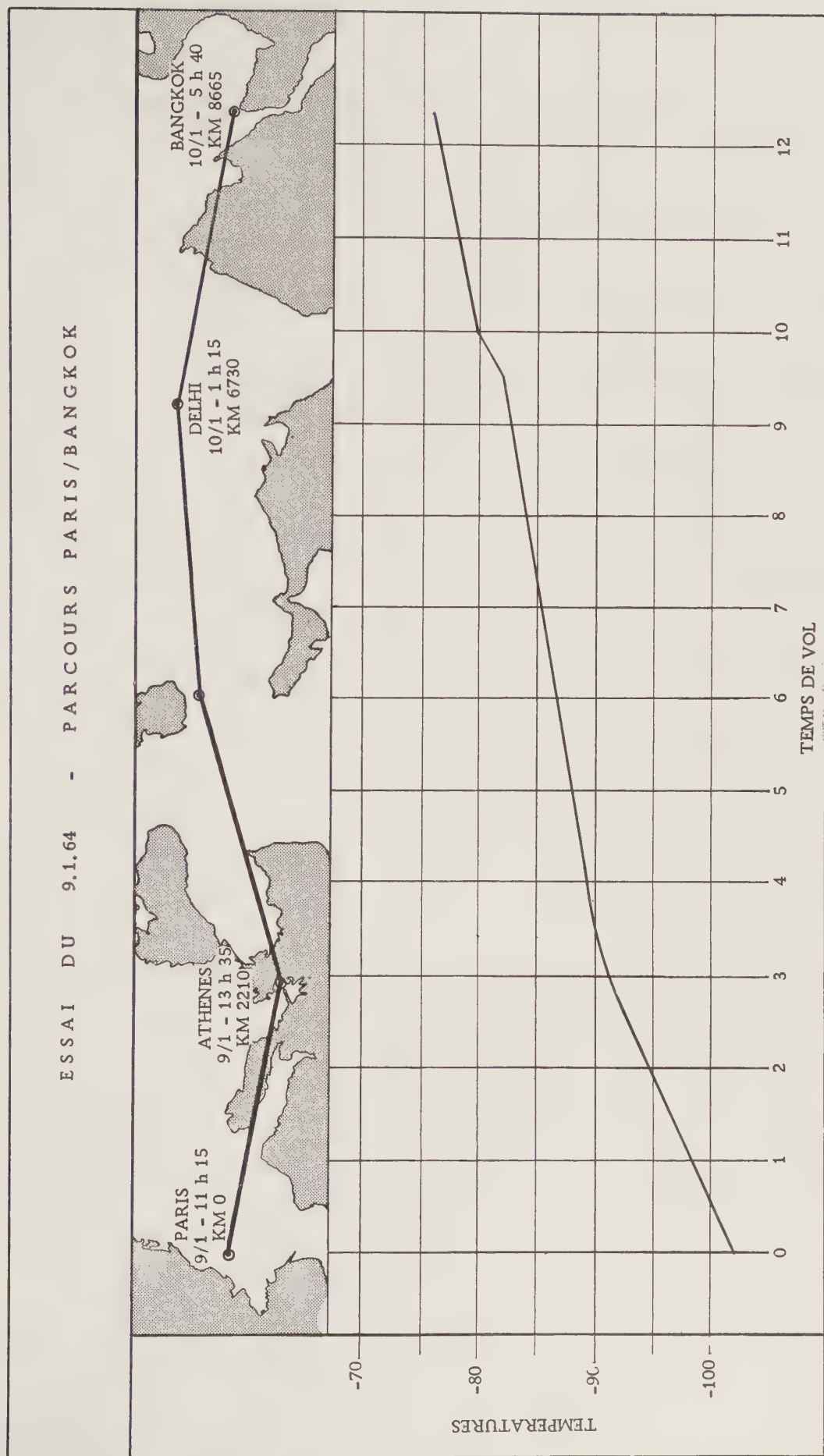


FIGURE 35



2ème exemple : Essai sur le parcours PARIS/RIO de JANEIRO

Le container (prototype AF 11) était chargé de la manière suivante :

- 2 plats four en acier inoxydable } carré de veau-endives
- 77 cassolettes en acier inoxydable }

Le poids du container chargé était de 70 Kg et le poids de plats surgelés embarqués était de 39 Kgs.

Les plats congelés à  $-196^{\circ}\text{C}$  avant le départ ont reçu un nouvel apport de froid à RIO de JANEIRO par immersion dans de l'azote liquide mis à notre disposition par "L'oxygène liquide do Brasil".

Le tableau suivant donne les températures enregistrées durant le vol et les températures enregistrées au sol avec le même chargement :

| Escale | Date et heure locale | Temps écoulé | Observations | TEMPERATURES    |                        |                                 |
|--------|----------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------------|---------------------------------|
|        |                      |              |              | à l'escale      | des plats à l'essai    | Au SARH avec le même chargement |
| ORLY   | 6 mars               | 21.45        | 0            | Durée du vol    | - $3^{\circ}\text{C}$  | - $196^{\circ}\text{C}$         |
|        |                      |              | 13h.30       |                 |                        |                                 |
| MADRID | 7 mars               | 03.25        | 03.40        | "               | + $3^{\circ}\text{C}$  | - $180^{\circ}\text{C}$         |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $170^{\circ}\text{C}$         |
|        | 7 mars               | 11.15        | 16.30        |                 | + $25^{\circ}\text{C}$ | - $110^{\circ}\text{C}$         |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $96^{\circ}\text{C}$          |
| RIO    | 9 mars               | 11.00        | 64.14        |                 | + $28^{\circ}\text{C}$ | - $14^{\circ}\text{C}$          |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $29^{\circ}\text{C}$          |
|        | 10 mars              | 10.00        | 87.15        |                 | + $30^{\circ}\text{C}$ | - $6^{\circ}\text{C}$           |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $16^{\circ}\text{C}$          |
|        | 10 mars              | 10.30        | 87.45        | congélation par | + $30^{\circ}\text{C}$ | - $50^{\circ}\text{C}$          |
|        |                      |              |              | immersion dans  |                        |                                 |
|        | 11 mars              | 16.00        | 117.15       | azote liquide   | + $29^{\circ}\text{C}$ | - $19^{\circ}\text{C}$          |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $22^{\circ}\text{C}$          |
| MADRID | 12 mars              | 07.30        | 128.45       | Durée du vol    | + $5^{\circ}\text{C}$  | - $13^{\circ}\text{C}$          |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $15^{\circ}\text{C}$          |
| ORLY   | 12 mars              | 12.00        | 133.15       | 12h.30          | + $17^{\circ}\text{C}$ | - $10^{\circ}\text{C}$          |
|        |                      |              |              |                 |                        | - $12^{\circ}\text{C}$          |

On voit qu'à l'arrivée à RIO de JANEIRO le 7 mars à 11h.15, la température enregistrée ( $-110^{\circ}\text{C}$ ) est plus basse que la température enregistrée avec le même chargement à ORLY ( $-96^{\circ}$ ).



Par contre, la température est remontée beaucoup plus rapidement à l'escale de RIO ( de  $-110^{\circ}\text{C}$  à  $-6^{\circ}\text{C}$  en 70h, 45' ) qu'à ORLY avec le même chargement ( de  $-96^{\circ}\text{C}$  à  $-16^{\circ}\text{C}$  en 70h.45' )

### Conclusions

Durant le vol, la température des produits surgelés a tendance à remonter moins rapidement que pendant les essais au sol à  $+20^{\circ}\text{C}$ ; mais dès que le container est exposé au soleil sur l'aéroport d'une escale de pays chauds, la température remonte beaucoup plus rapidement que ne le laissent prévoir les essais au sol.

Il faut donc prendre une marge de sécurité et prévoir que la limite supérieure de température doit être située à  $-25^{\circ}\text{C}$  et non plus à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

### b) L'évolution du degré hygrométrique

L'air ambiant des avions Boeing 707 est pris à l'extérieur de l'appareil, puis réchauffé dans les réacteurs ; il est renouvelé entièrement toutes les deux minutes et n'est pas recyclé.

A 10.000 mètres d'altitude, la température extérieure étant de  $-50^{\circ}\text{C}$ , le degré hygrométrique de l'air est pratiquement nul puisqu'il est égal à la tension de vapeur de la glace à  $-50^{\circ}\text{C}$ . L'air ambiant des avions est donc théoriquement très sec et les seules sources d'humidité sont la respiration des hommes et les boissons entreposées à bord.

Les courbes suivantes (figure 36) représentent l'évolution du degré hygrométrique à bord d'un Boeing 707 sur le parcours PARIS/ RIO de JANEIRO et retour. On voit qu'après 10 h. de vol, le degré hygrométrique est de 10% ce qui est très faible.

On ne court donc aucun risque de givrage sur les parois externes du container et par conséquent aucune détérioration des bagages voisins du container n'est à craindre.

### E.- LE RECHAUFFAGE

L'apport de calories pendant le réchauffage, se décompose comme suit pour un gramme de produit à réchauffer

| PHASE                                                                     | Calories | Pourcentage |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|
| Dégel de $-50^{\circ}\text{C}$ jusqu'à $0^{\circ}\text{C}$ .....          | 25       | 13,50       |
| Dégel pendant le palier de liquéfaction de la glace à $0^{\circ}\text{C}$ | 80       | 43,25       |
| Réchauffage proprement dit de $0^{\circ}\text{C}$ à $+80^{\circ}\text{C}$ | 80       | 43,25       |

.../



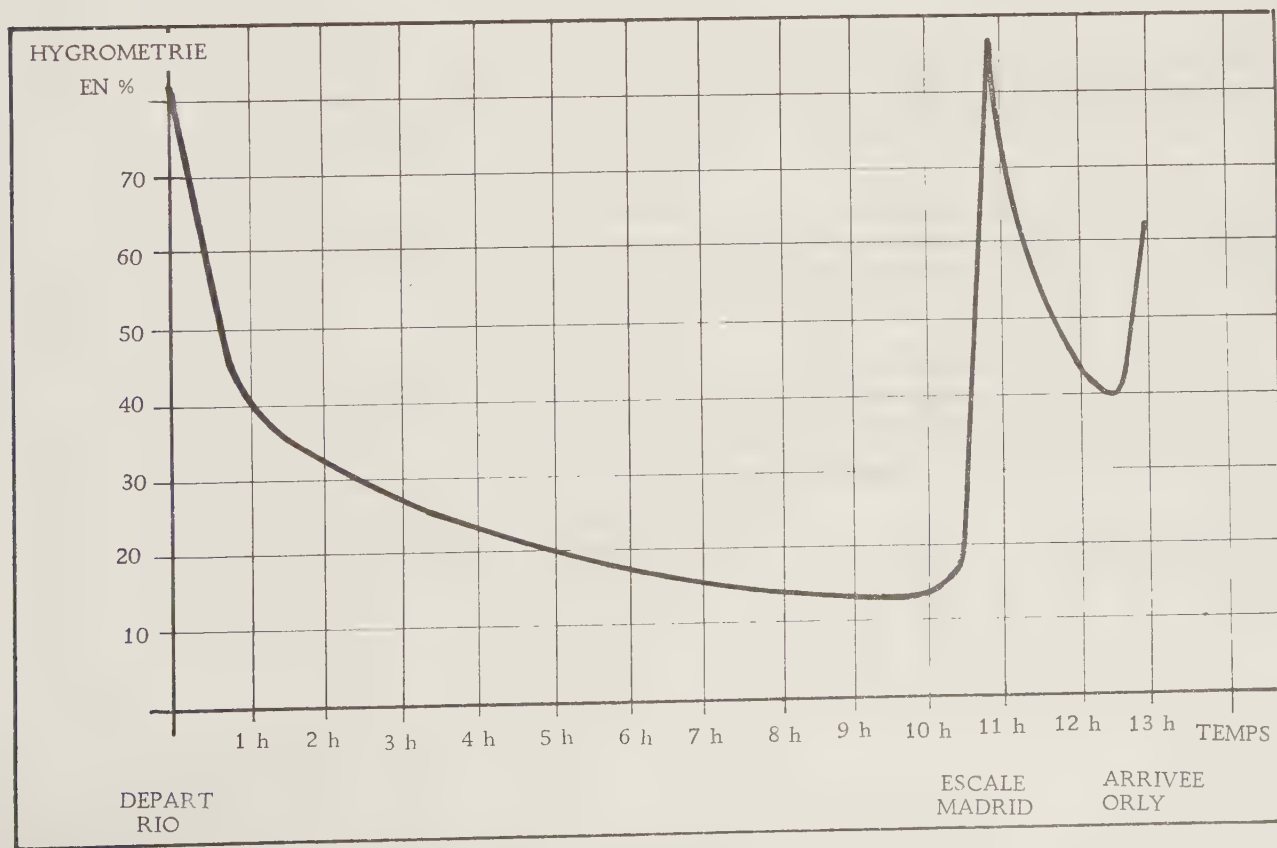
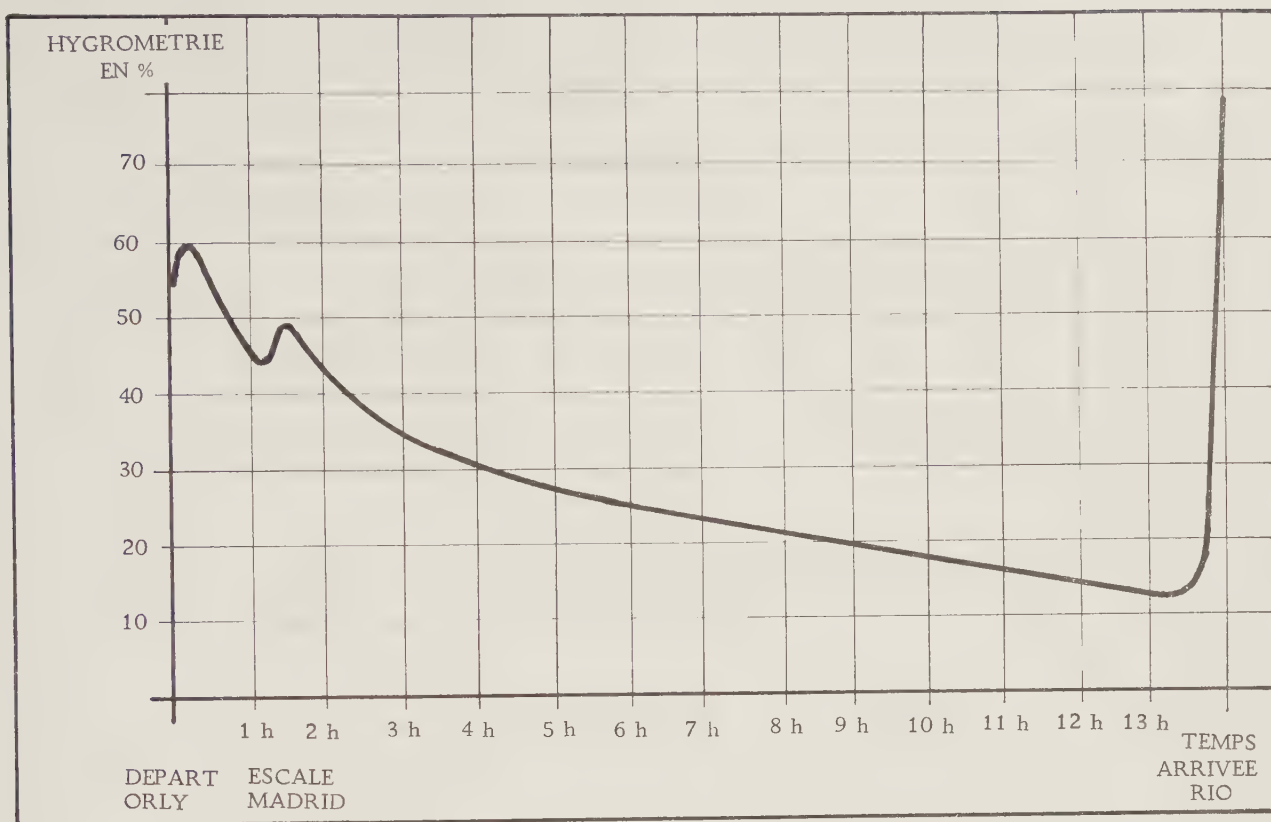


FIGURE 36



Dans le réchauffage des denrées surgelées, nous distinguerons donc deux phases :

- le dégel
- le réchauffage proprement dit.

### 1°.- Le dégel

Le dégel peut s'effectuer de trois façons suivant la nature des denrées, leur structure, leur degré de cuisson etc.....

#### a) Dégel lent en température ambiante

D'une façon générale, cette méthode est préférable car elle ne dégrade absolument pas la structure du plat.

Si elle a l'inconvénient d'être longue ( 3 à 4 heures suivant les cas) elle a l'avantage, ce qui peut se faire au sol en escale, de permettre la mise en température ambiante avant d'être embarqué à bord, un réchauffage rapide pouvant ainsi être effectué dans tous les cas de vols courts.

Par contre, cette méthode fait courir certains risques car si le réchauffage ne se fait pas immédiatement après le dégel, les altérations en température ambiante telles qu'oxydation et développement bactérien, peuvent survenir en quelques heures.

Or, dans certaines escales, le climat chaud et humide ne permet pas de garder des plats cuisinés dégelés durant plusieurs heures et malheureusement, ceci peut se produire en cas de départ retardé survenant en dernière heure.

#### b) Dégel en ambiance réfrigérée

Chaque fois que des cas sont à craindre de non réchauffage immédiatement après dégel, il est préférable d'adopter cette méthode en procédant au dégel dans un réfrigérateur dont la température est à 5° C environ. Evidemment, le dégel est plus long mais il offre plus de sécurité.

Cette méthode ainsi que la précédente sont de toutes façons indispensables et sont les seules possibles pour les viandes froides dont il a été question plus haut, car il ne saurait être question que ces denrées soient réchauffées artificiellement.

#### c) Dégel rapide dans le four

Ce dégel et ce réchauffage simultané doit être opéré de façon telle dans un four qu'il ne provoque pas une cuisson supplémentaire. Il faut donc réchauffer lentement sinon on risque de carboniser le plat en surface alors qu'il est encore surgelé à cœur.

Mais, d'une façon générale, cette méthode est à proscrire et à n'utiliser que dans des cas où l'on ne pourrait faire autrement.

.../



## 2°.- Le réchauffage proprement dit

Le réchauffage dans un four peut être fait comme il est pratiqué actuellement :

- sur les Boeing, dans des fours puissants, les denrées ayant été dégelées préalablement de préférence.
- sur les Caravelle, dans des armoires chauffantes de faible puissance, mais à condition qu'après le dégel un réchauffage ait été fait au sol, ces armoires n'étant capables que du maintien en chaleur.

Des améliorations peuvent être apportées aux fours existants pour obtenir, suivant les denrées :

- a) un réchauffage en ambiance humide en équipant le four d'extracteurs étanches dans lesquels est versée de l'eau produisant à la chaleur de la vapeur. (figure 39)

Ce type de réchauffage présente deux avantages :

- éviter la dessiccation de certains produits,
- éviter une ébullition, donc une "réduction" des sauces.

Le temps de réchauffage est sensiblement le même qu'avec les simples extracteurs en service.

- b) un réchauffage infrarouge, le four étant équipé à la place de l'extracteur supérieur de 4 tubes infrarouge d'une puissance totale supplémentaire de 2 KW. Ce type de réchauffage est préférable pour les viandes rouges car il donne l'impression d'une viande grillée à la minute alors que dans le réchauffage tel qu'il est pratiqué actuellement les viandes grillées semblent avoir été bouillies préalablement. (figure 40)

## 3°.- Les fours

Avant d'expérimenter les fours en service sur les Boeing, nous avons voulu étudier les possibilités de fours d'une conception toute nouvelle, appelés communément les "fours électroniques", pensant, compte tenu des résultats obtenus par les fabricants de ces matériels, procéder à des réchauffages d'une durée dix fois inférieure aux fours classiques, ceci dans l'optique de l'exploitation future dans les avions supersoniques.

### a) Les fours électroniques

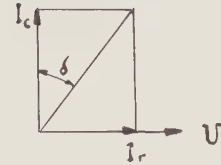
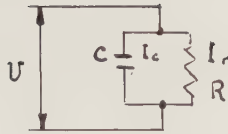
#### a1 - Rappel de notions fondamentales

- Cas d'une masse diélectrique en contact avec les armatures d'un condensateur plan

Dans un condensateur à diélectrique parfait (condensateur à air ou à vide par exemple) le courant et la tension sont en quadrature, et il n'y a aucune consommation d'énergie.

Nous admettrons que le diélectrique imparfait est assimilable à une résistance R shuntée par un condensateur sans perte.





Par ailleurs, le courant  $I$  qui traverse le diélectrique peut être considéré comme la résultante de deux vecteurs  $I_c$  et  $I_r$ , le vecteur  $I_r$  étant en phase avec la tension

ou à :

$$U = R I_r = \frac{I_c}{C \omega}$$

la puissance perdue est égale à  $W = U I_r = U I_c \operatorname{tg} \delta = C \omega U^2 \operatorname{tg} \delta$

Or  $C = \frac{\epsilon S}{4 \pi d}$

$\epsilon$  étant le pouvoir inducteur spécifique (ou constante diélectrique)

$d$  l'écart entre les armatures

$S$  la surface des armatures

d'où  $W = \frac{\epsilon S}{4 \pi d} 2 \pi f U^2 \operatorname{tg} \delta$  soit  $W = \frac{\epsilon S d}{2} f \frac{U^2}{d^2} \operatorname{tg} \delta$

Or  $Sd$  est le volume du diélectrique et  $\frac{U^2}{d^2}$  est le carré du champ électrique  $H = \frac{U}{d}$

la perte de puissance par unité de volume est donc égale à

$$W = \frac{1}{2} \epsilon f H^2 \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

le produit  $\epsilon \operatorname{tg} \delta$  est appelé FACTEUR DE PERTES

Si  $f$  est la fréquence en Hertz, le champ  $H$  en V.cm, la perte  $W$  sera donnée en watts par

$$W = \epsilon f H^2 \operatorname{tg} \delta \times \frac{1}{18 \times 10^{11}}$$

Il faut remarquer cependant que les valeurs de  $\epsilon$  varient pour une substance donnée, en fonction de plusieurs paramètres :

degré d'humidité, température, fréquence du courant .....

.../



| Matériau   | $\epsilon$ | Température de l'eau |      |
|------------|------------|----------------------|------|
| Alcool     | 16 à 31    | - 190° C             | 1,76 |
| Eau        | 81         | - 18° C              | 3,26 |
| Huile      | 2,2 à 4,7  | 0° C                 | 88   |
| Papier     | 2,0 à 2,6  | + 20° C              | 80   |
| Porcelaine | 5,7 à 6,8  | + 100° C             | 48   |
| Verre      | 5,4 à 9,9  |                      |      |

a. Cas d'une masse diélectrique placée dans le champ des armatures d'un condensateur plan avec intervalle d'air.

Dans le cas où les armatures du condensateur sont séparées du diélectrique par un intervalle d'air, il faut tenir compte de la tension réelle à laquelle la substance est soumise.

Si on appelle  $d$  l'épaisseur de la substance et  $e$  l'intervalle total d'air, la tension réelle aux bornes de la substance est

$$E = \frac{U}{1 + \frac{\epsilon e}{d}}$$

Pour expliquer une telle dissipation d'énergie, on fait appel à la notion d'hystérésis diélectrique en admettant que les molécules des diélectriques se comportent comme des dipôles.

En l'absence du champ électrique, ces dipôles se neutralisent mutuellement ; par contre, quand ils sont soumis à un champ électrique variable, ils s'orientent de telle manière que leur énergie potentielle soit minimum.

Aux fréquences élevées, les molécules polaires suivent les variations du champ avec un certain retard (d'où la notion d'hystérésis diélectrique) et la dissipation d'énergie est due au frottement intermoléculaire.

L'examen de la relation ( 2 ) montre que pour un diélectrique donné, la puissance varie comme le carré du champ et comme la fréquence. On a donc intérêt à utiliser des fréquences très élevées (en pratique, supérieures à 10 millions de Hertz).

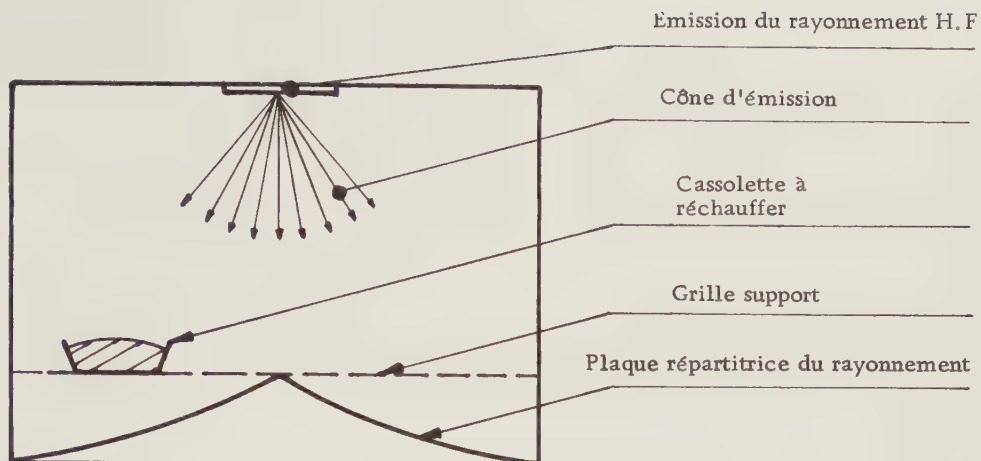
a2 - Description (figure 37)

Les trois appareils sont équipés du même magnétron PHILLIPS qui dissipe une puissance de 2 KWH à l'intérieur de la cavité.

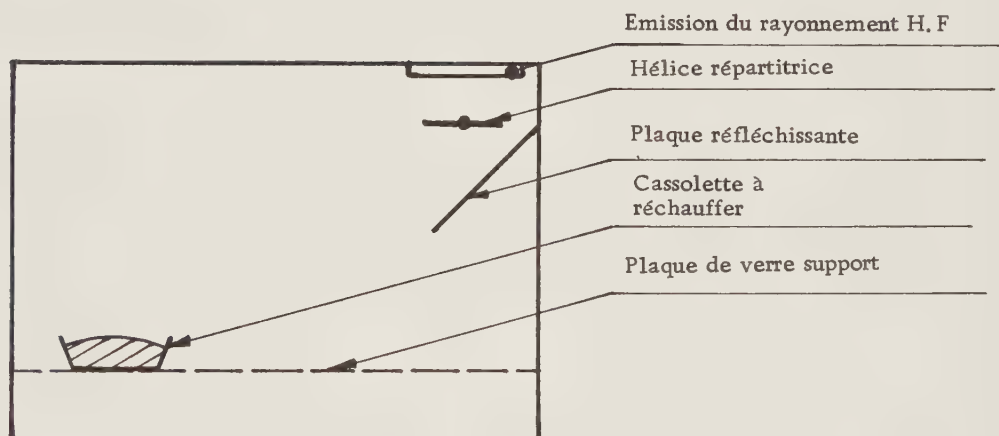
.../



ARTHUR MARTIN



ARTICA



HERTZ

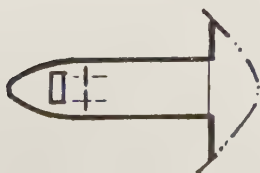
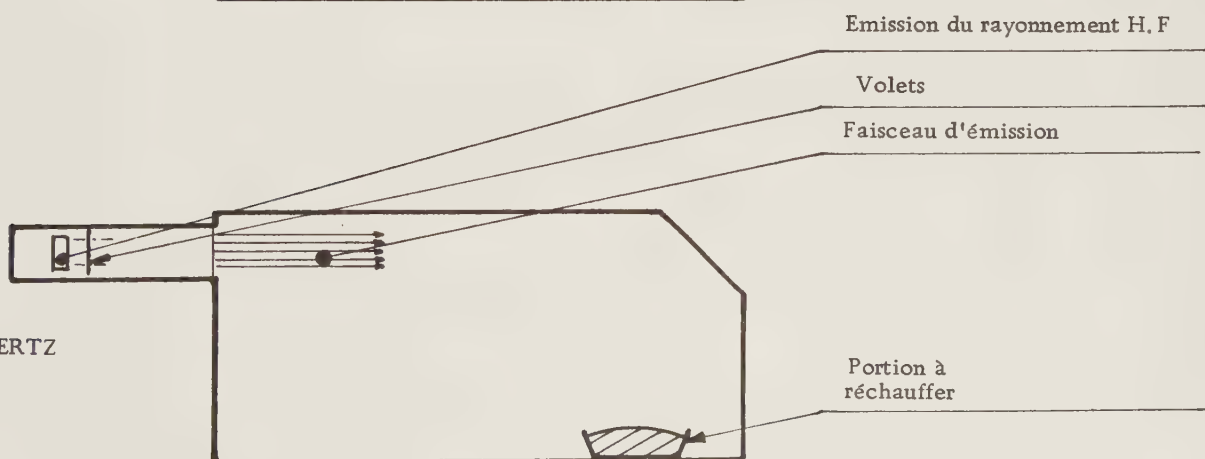


FIGURE 37



### ARTHUR MARTIN

L'émission du rayonnement se fait par un point fixe situé au sommet de la cavité.

La répartition de rayonnement à l'intérieur de la cavité ne se fait qu'après absorption d'une partie de l'énergie par les produits puisque la plaque réparatrice se trouve en dessous de la grille support.

### ARTICA

L'émission se fait par un point fixe situé au sommet de la cavité. Le rayonnement est brassé par une hélice à 3 pales, puis réfléchi sur une plaque inclinée à 45°.

### HERTZ

L'émission du rayonnement se fait au "foyer" d'une tranche de paraboléide de révolution.

Le rayonnement pénètre dans la cavité sous forme d'un faisceau de rayons parallèles.

A l'intérieur de cette tranche de paraboléide, sont placés des volets animés d'un mouvement de rotation, qui sont destinés à brasser le rayonnement dans un plan perpendiculaire à la direction du faisceau émis.

### a3 - Résultats

La tension appliquée étant sinusoïdale, on observe aux noeuds et aux ventres de cette tension, des minima et des maxima d'absorption d'énergie, donc de chauffage. Cela se traduit par exemple dans un morceau de viande, par des zones brunâtres de forme elliptiques ( de 1 cm<sup>2</sup> de surface environ) espacées régulièrement : c'est un phénomène d'ondes stationnaires.

Le temps de réchauffage d'un produit placé dans la cavité est fonction de son poids. Le tableau suivant donne le temps de réchauffage d'un produit en fonction de son poids.

| Nombre de cassolettes | Poids de l'eau à réchauffer | Temps de réchauffage de + 12° à + 100° |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 1                     | 0,250 Kg                    | 1 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>         |
| 2                     | 0,500                       | 2 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>         |
| 3                     | 0,750                       | 4 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>         |
| 4                     | 1,00                        | 6 <sup>h</sup>                         |
| 6                     | 1,500                       | 8 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>         |
| 8                     | 2,00                        | 10 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>        |
| 10                    | 2,500                       | 12 <sup>h</sup>                        |
| 12                    | 3,00                        | 13 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>        |
| 14                    | 3,500                       | 15 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>        |
| 16                    | 4,00                        | 17 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>        |





Poids de l'eau à réchauffer  
de + 12° C à + 100° C

Les constantes diélectriques des composants d'un plat cuisiné étant différentes, l'absorption d'énergie par ces composants est différente et il résulte un réchauffage hétérogène.

La répartition du rayonnement H.F dans la cavité n'est homogène comme le montre la figure 38.

Cette répartition est mauvaise pour le four ARTHUR MARTIN et relativement acceptable pour les fours ARTICA et HERTZ puisqu'ils sont munis de systèmes de brassage de ce rayonnement.

L'absorption d'énergie se faisant simultanément dans toute la masse du produit à réchauffer, ce type de réchauffage ne convient pas pour les viandes rouges car il ne permet pas de les garder " saignant à coeur".

En conclusion, les fours électroniques ne peuvent nous intéresser pour les raisons suivantes :

- 1) le réchauffage n'est pas homogène à l'intérieur d'une portion.
- 2) le réchauffage n'est pas homogène suivant la localisation des plats dans la cavité.
- 3) ce type de réchauffage ne convient pas aux viandes rouges.
- 4) la calorie "électronique" n'est pas une calorie "miracle" et pour la masse des plats à réchauffer dans un avion Boeing, le temps de réchauffage est plus long dans les fours électroniques que dans les fours Boeing.

Si les raisons 1) et 2) peuvent disparaître par une amélioration de la technique ( four continu à tapis roulant), il n'en reste pas moins vrai que les fours électroniques ne peuvent être intéressants pour le réchauffage des plats cuisinés à bord des avions.

## b) Fours Boeing

### a1 - Description

Ces fours ont été mis en service en même temps que les appareils pour lesquels ils ont été conçus, avec une puissance recherchée à l'époque suffisamment forte en vue justement d'une exploitation du surgelé dans l'avenir.



## ARTICA

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |      |                          |      |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|--------------------------|
| 1'30                     | <input type="checkbox"/> | 2'15                     | <input type="checkbox"/> | 2'55                     | <input type="checkbox"/> | 3'50 | <input type="checkbox"/> | 4'10 | <input type="checkbox"/> |
| 9'30                     | <input type="checkbox"/> | 5'40                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 9'1  | <input type="checkbox"/> | 8'1  | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 5'30 | <input type="checkbox"/> | 6'1  | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 4'30 | <input type="checkbox"/> | 6'30 | <input type="checkbox"/> |

[illegible]

|      |                      |      |                      |      |                      |      |                      |      |                      |       |                      |
|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|-------|----------------------|
| 1'15 | <input type="text"/> | 2'20 | <input type="text"/> | 2'45 | <input type="text"/> | 4'   | <input type="text"/> | 4'   | <input type="text"/> | 4'    | <input type="text"/> |
| 6'15 | <input type="text"/> | 4'40 | <input type="text"/> | 5'30 | <input type="text"/> | 5'30 | <input type="text"/> | 6'15 | <input type="text"/> | 6'15  | <input type="text"/> |
| 7'   | <input type="text"/> | 8'15 | <input type="text"/> | 9'00 | <input type="text"/> | 9'00 | <input type="text"/> | 9'45 | <input type="text"/> | 10'30 | <input type="text"/> |

PYREX

# POLYETHYLENE

PORCELAIN

|      |                      |      |                      |      |                      |      |                      |      |                      |      |                      |
|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|
| 1'30 | <input type="text"/> | 3'15 | <input type="text"/> | 2'45 | <input type="text"/> | 3'30 | <input type="text"/> | 4'45 | <input type="text"/> | 4'15 | <input type="text"/> |
| 5'1  | <input type="text"/> | 6'30 | <input type="text"/> | 7'30 | <input type="text"/> | 5'15 | <input type="text"/> | 5'15 | <input type="text"/> | 6'30 | <input type="text"/> |
| 6'1  | <input type="text"/> | 7'30 | <input type="text"/> | 7'1  | <input type="text"/> | 8'30 | <input type="text"/> | 8'1  | <input type="text"/> | 8'45 | <input type="text"/> |

|                            |                            |                            |                            |                         |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1'30" <input type="text"/> | 2'30" <input type="text"/> | 2'15" <input type="text"/> | 3'15" <input type="text"/> | 3' <input type="text"/> | 3' <input type="text"/>    |
| 4'15" <input type="text"/> | 4' <input type="text"/>    | 7'30" <input type="text"/> | 7'45" <input type="text"/> | 8' <input type="text"/> | 5'15" <input type="text"/> |
| 4'30" <input type="text"/> | 4' <input type="text"/>    | 6' <input type="text"/>    | 6' <input type="text"/>    | 6' <input type="text"/> | 6' <input type="text"/>    |

|                                                        |                              |                                                         |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $1'15$ <input type="text"/>                            | $2'15$ <input type="text"/>  | $4'$ <input type="text"/> $3'15$ <input type="text"/>   |
| $4'$ <input type="text"/> $5'15$ <input type="text"/>  | $10'30$ <input type="text"/> | $5'15$ <input type="text"/> $4'30$ <input type="text"/> |
| $7'$ <input type="text"/> $11'30$ <input type="text"/> | $8'30$ <input type="text"/>  | $4'$ <input type="text"/> $5'30$ <input type="text"/>   |
| $5'$ <input type="text"/> $8'45$ <input type="text"/>  | $8'45$ <input type="text"/>  | $5'30$ <input type="text"/>                             |

FIGURE 38



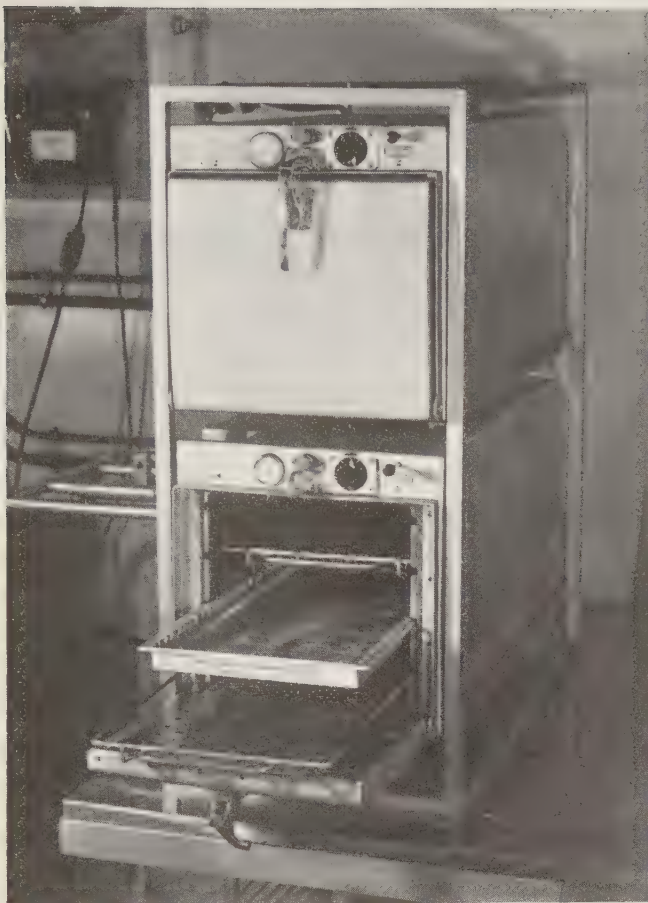


FIGURE 39

## LES FOURS BOEING

On peut distinguer les extracteurs ajourés et les extracteurs étanches destinés au réchauffage en ambiance humide.

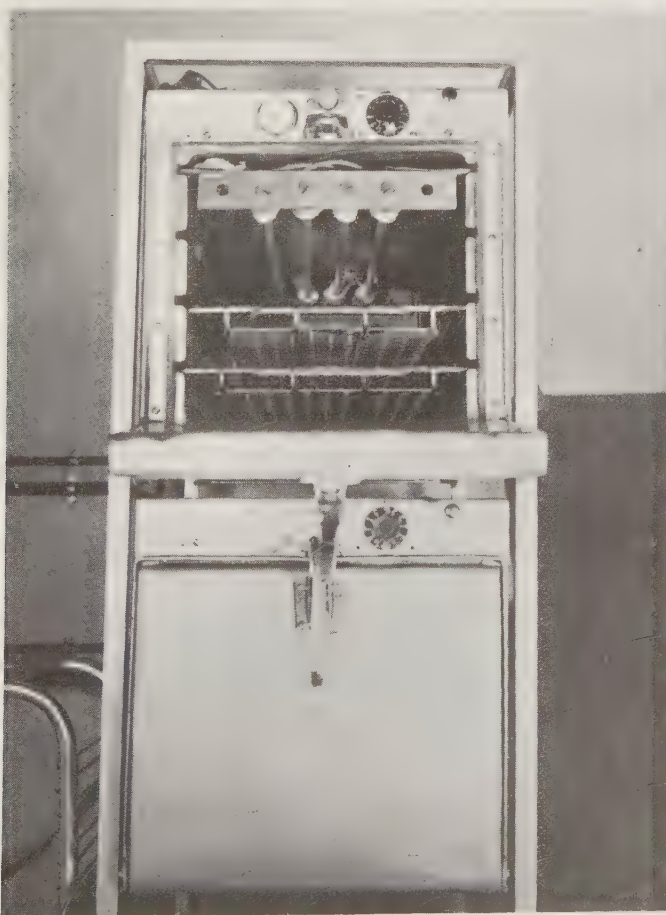


FIGURE 40

LES FOURS BOEING,  
MONTAGE DE L'INFRA GRILL



Ils se sont d'ailleurs révélés trop puissants pour le réchauffage des denrées fraîches et, compte tenu de ce qui a été dit plus haut - ce qui n'avait pas été analysé à l'époque - pour également les denrées surgelées du fait qu'un réchauffage lent est meilleur qu'un réchauffage rapide.

Ces fours ont une puissance de 4 KWH dont les résistances sont logées au fond de l'enceinte, muni d'une ventilation et d'un réglage thermostatique. Ils comportent un thermomètre placé sur la face avant du four, deux allures de chauffage étant possibles suivant le montage des résistances ( montage étoile - triangle). Ils peuvent recevoir 4 extracteurs contenant chacun 10 cassolettes.

## b2- Résultats

Le tableau ci-dessous donne les températures ambiantes de ces fours :

| Position du thermostat | Four " fort "             |                           | Four " faible "           |                           |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                        | Température :<br>ambiante | Lecture du<br>thermomètre | Température :<br>ambiante | Lecture du<br>thermomètre |
| 0                      | 120°                      | 40°                       | 65°                       | 40°                       |
| 1                      | 150°                      | 45°                       | 77°                       | 50°                       |
| 2                      | 165°                      | 53°                       | 84°                       | 56°                       |
| 3                      | 178°                      | 60°                       | 96°                       | 65°                       |
| 4                      | 190°                      | 70°                       | 104°                      | 72°                       |
| 5                      | 202°                      | 80°                       | 116°                      | 82°                       |
| 6                      | 213°                      | 90°                       | 124°                      | 90°                       |
| 7                      | 222°                      | 100°                      | 132°                      | 100°                      |
| 8                      | 236°                      | 110°                      | 139°                      | 105°                      |
| 9                      | 247°                      | 120°                      | 148°                      | 115°                      |
| 10                     | 258°                      | 130/144°                  | 157°                      | 125°                      |

L'étalonnage précédent a été effectué avec des fours vides, les puissances respectives étant les suivantes :

- Four "fort" - montage triangle - 3.600 watts
- Four "faible"- montage étoile - 2.100 watts

L'étalonnage suivant a été effectué sur un montage étoile avec une résistance débranchée, la puissance étant de 1.400 watts .



Etalonnage four plein

Réchauffage de 40 cassolettes pyrex garnies de purée

| Temps   | Position du thermostat | Température à coeur des produits mis à four-20° | Température lue sur le thermomètre du thermostat |
|---------|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0 h.    |                        | - 20°                                           |                                                  |
| 1 h. 24 | 0                      | + 10°                                           | + 40°                                            |
| 1h. 54  | 1                      | + 44°                                           | + 50°                                            |
| 2 h. 25 | 2                      | + 59°                                           | + 56°                                            |
| 2 h. 55 | 3                      | + 64°                                           | + 63°                                            |
| 3 h. 25 | 4                      | + 68°                                           | + 68°                                            |
| 4 h. 35 | 5                      | + 78°                                           | + 76°                                            |

La puissance disponible n'est pas suffisante pour faire déclancher le thermostat à la position n° 5.

Etalonnage four vide

| Position du thermostat | Température de l'air ambiant | Température lue sur le thermomètre du thermostat |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                      | 68°                          | 40°                                              |
| 1                      | 81°                          | 50°                                              |
| 2                      | 90°                          | 55°                                              |
| 3                      | 99°                          | 61°                                              |
| 4                      | 106°                         | 68°                                              |
| 5                      | 117°                         | 76°                                              |
| 6                      | 126°                         | 85°                                              |
| 7                      | 135°                         | 95°                                              |
| 8                      | 144°                         | 103°                                             |
| 9                      | 152°                         | 110°                                             |
| 10                     | ?                            | ?                                                |



Le tableau suivant donne les temps de réchauffage jusqu'à + 80° C en fonction de la température de mise à four pour une masse de 40 cassolettes de "longe de veau - épinards" (soit 10 Kgs) dans des récipients en aluminium.

#### FOUR "FAIBLE"

| Température de mise<br>à four | Temps de dégel | Temps de réchauffage | Temps total |
|-------------------------------|----------------|----------------------|-------------|
| - 50° C                       | 60'            | 35'                  | 1h.35'      |
| - 40° C                       | 55'            | 35'                  | 1h.30'      |
| - 30° C                       | 50'            | 35'                  | 1h.25'      |
| - 20° C                       | 45'            | 35'                  | 1h.20'      |
| - 10° C                       | 40'            | 35'                  | 1h.15'      |
| 0° C                          | 35'            | 35'                  | 1h.10'      |
| + 5° C                        | 0              | 40'                  | 40'         |

#### FOUR "FORT"

| Température de mise<br>à four | Temps de dégel | Temps de réchauffage | Temps total |
|-------------------------------|----------------|----------------------|-------------|
| - 50° C                       | 35'            | 20'                  | 55'         |
| - 40° C                       | 32'            | 20'                  | 52'         |
| - 30° C                       | 29'            | 20'                  | 49'         |
| - 20° C                       | 26'            | 20'                  | 46'         |
| - 10° C                       | 23'            | 20'                  | 43'         |
| 0° C                          | 20'            | 20'                  | 40'         |
| + 5° C                        | 0              | 25'                  | 25'         |

.../



La meilleure solution, lorsque l'on est obligé de procéder à un dégel rapide dans le four, est la suivante :

- dégel dans le four à position "faible"
- puis réchauffage dans le four à position "fort".

Le tableau suivant donne les temps de dégel et de réchauffage selon cette méthode :

| Température de mise<br>à four | Dégel | Réchauffage | Temps total |
|-------------------------------|-------|-------------|-------------|
| - 50° C                       | 60'   | 20'         | 1h.20'      |
| - 40° C                       | 55'   | 20'         | 1h.15'      |
| - 30° C                       | 50'   | 20'         | 1h.10'      |
| - 20° C                       | 45'   | 20'         | 1h.05'      |
| - 10° C                       | 40'   | 20'         | 1h.         |
| 0° C                          | 35'   | 20'         | 55'         |
| + 5° C                        | 0     | 25'         | 25'         |

## F.- CONCLUSIONS

Nous pouvons donc récapituler comme suit (figure 41) le cycle de surgélation le mieux adapté aux plats cuisinés :

- réfrigération et cristallisation par compression
- post congélation à - 70° C par aspersion d'azote liquide
- conservation à - 50° C en ambiance neutre d'azote
- Transport à une température n'excédant pas - 18° C
- dégel lent
- réchauffage adapté à la nature du plat.

Il est à remarquer que ce cycle ne s'adapte pas forcément à d'autres denrées que celles qui ont été étudiées ici, qu'il s'agisse des températures de cristallisation totale et des températures de fusion commengante, ou bien qu'il s'agisse du volume des denrées (nous avons vu, lors des transferts de chaleur en cours de congélation, l'importance énorme du volume des denrées).



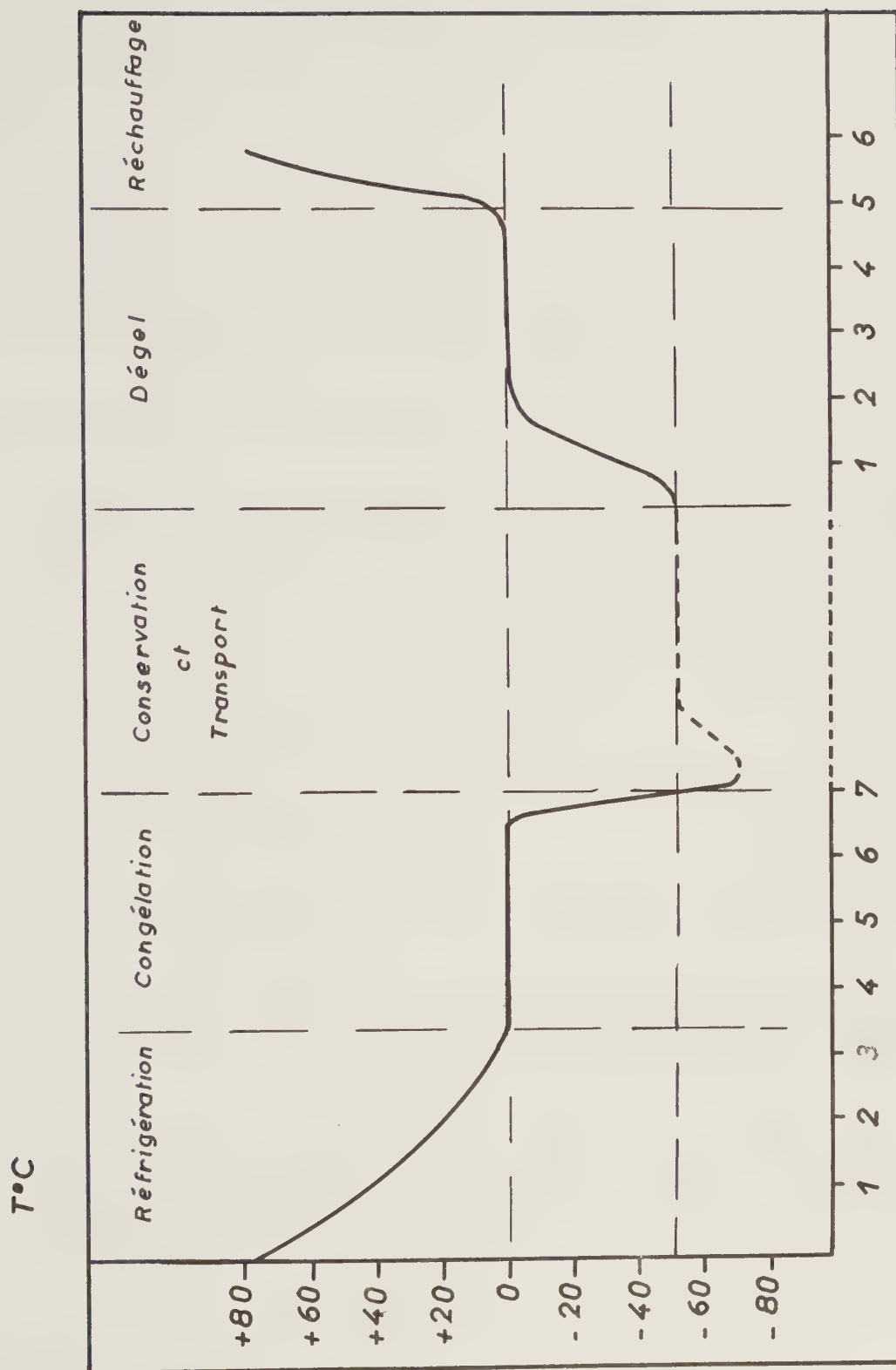


FIGURE 41



### CHAPITRE III - LES TESTS ORGANOLEPTIQUES

Comme nous l'avons indiqué dans la méthode d'étude, des tests organoleptiques ont été proposés pour déterminer si les caractéristiques des plats surgelés étaient compétitives avec celles des plats frais, et pour déterminer l'influence du traitement frigorifique sur la qualité finale des plats cuisinés, tant à la congélation qu'à la conservation et au réchauffage.

#### A.- ORGANISATION DES TESTS ORGANOLEPTIQUES

Ainsi que leur nom l'indique, ces tests font appel aux organes des sens, de sorte qu'on les considère comme subjectifs et donc sujets à caution ; un effort important a été entrepris depuis plusieurs années, aussi bien aux Etats-Unis qu'en Europe, pour rendre ces examens organoleptiques aussi objectifs que possible.

Nous nous proposons d'exposer brièvement les méthodes générales d'étude puis celle que nous avons adoptée.

#### 1°.- Les méthodes générales d'étude (D. JACQMAIRE <sup>6</sup>)

Il est impossible de déterminer d'une manière exacte les impressions de goût et d'odeur alors qu'il existe de nombreuses méthodes pour juger d'une manière scientifique une coloration, une impression lumineuse, un son, une texture.

Les organes du goût et de l'odorat qui se trouvent respectivement sur la langue et dans le nez sont excités par des substances qui agissent sur ces organes par voie chimique, leur mécanisme d'action étant inconnu aujourd'hui.

Les organes terminaux du goût se trouvent dans les papilles gustatives de la langue et on retrouve des papilles gustatives, mais en moins grand nombre sur le palais, le pharynx et le larynx. Ces organes ne sont capables de distinguer que quatre impressions différentes : sucré, salé, acide et amer.

L'odorat est comparativement moins bien connu ; les organes olfactifs sont localisés dans des membranes au sommet de chaque cavité nasale. Les organes de l'odorat sont stimulés par des substances volatiles qui pénètrent dans le nez, non seulement par les narines, mais aussi venant de la bouche par le pharynx. C'est ainsi que l'odorat participe tout autant que le goût à l'impression d'une saveur donnée.

.../



La sensibilité du sens olfactif est environ 10.000 fois plus grande que celle du sens gustatif, mais il y a peu de substances dont les actions sur le goût et l'odorat sont indépendantes l'une de l'autre ( R.W. MONCRIEFF <sup>1)</sup> )

Les tests de dégustation sont très nombreux et nous n'en citerons que quelques uns parmi les plus importants :

- Les tests de différenciation dont le but est de déterminer par une analyse statistique des résultats s'il existe une différence "significative" détectable entre deux échantillons.

La comparaison par paires consiste à comparer deux échantillons et la comparaison triangulaire consiste à comparer trois échantillons dont deux sont identiques. Il faut, pour qu'un résultat soit pris en considération, que le dégustateur ait correctement répondu à la question préliminaire : " quels sont sur les trois échantillons présentés , les deux échantillons semblables ? " ce qui diminue l'influence du facteur chance sur le résultat final donné par le jury.

- Les tests de classification simple destinés à obtenir une classification d'échantillons d'après une caractéristique, une propriété ou un constituant particulier.
- Les tests de cotation numérique dont le but est d'obtenir des valeurs numériques permettant de situer la qualité d'un produit sur une échelle préétablie.
- Les tests de dilution où l'on recherche un indice de dilution à partir duquel une caractéristique n'est plus détectable dans un produit "idéal" ou un indice de concentration maximum acceptable.
- Les tests du "profil de saveur" (Flavor profile) destinés à fournir une évaluation descriptive de l'ensemble d'une saveur et de ses constituants et à donner un rapport qui permette la mise en évidence des ressemblances et des différences entre produits de même type et de types différents et qui montre l'impression totale de la saveur.

Toute observation est normalement entachée d'une erreur et la moyenne d'une série d'observations effectuées dans les mêmes conditions est la valeur la plus probable, les résultats se distribuant, autour de leur moyenne, et en fonction de leur fréquence suivant une courbe normale de Gauss-Laplace. On peut donc étudier la dispersion de ces observations d'après les propriétés de la loi normale suivant les méthodes du calcul statistique.

Le grand principe de l'analyse et de l'interprétation des résultats des examens organoleptiques est le suivant :

- 1) Si le seul hasard avait présidé à l'établissement des réponses fournies par les membres du jury, quel aurait été le résultat de l'examen organoleptique étudié ?
- 2) Le résultat réellement fourni par le jury est-il ou non, avec une probabilité déterminée, significativement différent, dans un sens ou dans l'autre, de celui que le hasard seul aurait fourni ?

.../



## 2°.- Le choix d'une méthode

La méthode a consisté à comparer divers échantillons surgelés à un échantillon frais, préparé dans les mêmes conditions, ces comparaisons étant faites d'une manière systématique par un jury déterminé et les résultats étant consignés sur des fiches de dégustation.

### a) le jury

La confiance, au sens statistique du terme, dans les résultats fournis par le jury, est d'autant plus grande que celui-ci compte un plus grand nombre de membres. Pour des examens organoleptiques, on admet en général qu'un jury composé de 10 à 30 membres est suffisant. Notre jury comprenant 10 membres lorsqu'il était réuni au complet, on conçoit que nous étions placés dans de mauvaises conditions pour une exploitation statistique des résultats des examens organoleptiques. De plus, nous n'avons pu procéder à une sélection rationnelle des membres du jury et nous avons admis que leur réputation de "connaisseurs" nous donnait des garanties suffisantes pour constituer un jury valable.

### b) les séances de dégustation

Des séances hebdomadaires ont été organisées à jour fixe et chaque fois dans le même local et dans les mêmes conditions.

Pour éviter que les dégustateurs ne puissent s'influencer les uns les autres, il aurait été préférable qu'ils fussent séparés, mais il n'a malheureusement pas été possible d'éviter que les dégustateurs communiquent entre eux.

Ces séances de dégustation ont eu pour but de déterminer :

- l'influence de la congélation
- l'influence de la conservation
- l'influence du réchauffage

sur la qualité finale des plats à la consommation, les opinions de chaque membre du jury étant consignées sur une fiche de dégustation.

### c) les fiches de dégustation

Les fiches de dégustation ont été établies en tenant compte des différents facteurs qui rentrent dans l'appréciation d'un plat cuisiné :

- la présentation,
- l'élément principal (viande ou poisson)
- la sauce
- les légumes ou la garniture.

Pour chacun de ces facteurs, nous avons établi une échelle de classement fort simple, en tenant compte à la fois des éléments positifs et des éléments négatifs :

.../



Chaque facteur peut être jugé :

- Excellent
- bon
- quelconque
- mauvais

Le modèle ci-joint montre la présentation de ces fiches de dégustation.

La notation suivant ces quatre critères est a fortiori arbitraire et il importe de comparer les notes de différents échantillons d'une même dégustation sans attacher d'importance aux notes absolues.

Nous avons compté :

- ♦ 2 points pour la notation "excellent"
- ♦ 1 point pour la notation "bon"
- 0 point pour la notation "quelconque"
- ♦ 1 point pour la notation "mauvais".

Ainsi un plat qui aura été jugé "excellent" pour la présentation, l'élément principal, la sauce et la garniture, obtiendra 8 points sur un maximum de 8 points et sera donc noté 20/20.

De la même manière, un plat jugé "bon" pour les mêmes facteurs obtiendra 4 points sur un maximum de 8 points et sera donc noté 10/20.

On voit que la notation est sévère, mais la volonté de refuser tout plat jugé d'une qualité médiocre nous imposait d'avoir une plage importante dans la notation pour une qualité extrêmement satisfaisante.



Date : 26. 11. 63.

Dégustateur : M. X

Dégustation du plat : Côte d'aiguillon pommes sarladaises préparé le : 11. 7. 63.

| COTATION                  |   |   |   | APPRECIATIONS ANNEXES          |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|--------------------------------|---|---|---|
| I - PRESENTATION          |   |   |   |                                |   |   |   |
|                           | A | B | C |                                |   |   |   |
| 1. Excellent .....        | X |   |   |                                |   |   |   |
| 2. Bon .....              |   |   | X |                                |   |   |   |
| 3. Quelconque .....       |   | X |   |                                |   |   |   |
| 4. Mauvais .....          |   |   |   |                                |   |   |   |
| II - ELEMENT PRINCIPAL    |   |   |   |                                | A | B | C |
| 1. Excellent .....        | X |   |   | - Tendre .....                 | X |   | X |
| 2. Bon .....              |   |   | X | - Ferme .....                  |   | X |   |
| 3. Quelconque .....       |   | X |   | - Dur .....                    |   |   |   |
| 4. Mauvais .....          |   |   |   | - Filandreux .....             |   |   |   |
|                           |   |   |   | - Déchiqueté .....             |   |   |   |
|                           |   |   |   | - Caoutchouteux .....          |   |   |   |
| III - SAUCE               |   |   |   |                                |   |   |   |
| 1. Excellent .....        |   |   |   | - Onctueuse.....               |   |   |   |
| 2. Bon .....              |   |   |   | - Liquide .....                |   |   |   |
| 3. Quelconque .....       |   |   |   | - Tournée .....                |   |   |   |
| 4. Mauvais .....          |   |   |   | - Trop abondante .....         |   |   |   |
|                           |   |   |   | - En quantité suffisante ..... |   |   |   |
|                           |   |   |   | - Rare .....                   |   |   |   |
| IV - LEGUMES OU GARNITURE |   |   |   |                                |   |   |   |
| 1. Excellent .....        | X |   |   | - Trop durs .....              |   |   |   |
| 2. Bon.....               |   |   |   | - Ferme .....                  | X |   |   |
| 3. Quelconque .....       |   | X | X | - Mou .....                    |   | X |   |
| 4. Mauvais .....          |   |   |   | - Goût de réchauffé .....      |   | X | X |
|                           |   |   |   | - Farineux .....               |   |   |   |
|                           |   |   |   | - Filandreux .....             |   |   |   |

V - COMMENT CLASSEZ VOUS LES TROIS ECHANTILLONS ?

1er ..... A

2ème ..... C

3ème ..... B

VI - APPRECIATION GENERALE ET SUGGESTIONS : L'échantillon B a un goût de suif prononcé.  
 Les pommes de terre des échantillons B et C sont très aqueuses.



## B.- INFLUENCE DE LA CONGELATION

### 1°.- Les phénomènes en jeu

Trois facteurs peuvent influencer la qualité des plats pendant la phase de congélation :

- 1) l'air ambiant qui peut jouer sur les réactions chimiques (principalement les réactions d'oxydation).
- 2) la vitesse de cristallisation.
- 3) la température finale de congélation.

Nous n'avons pas contrôlé systématiquement l'influence du premier facteur car les phénomènes d'oxydation sont beaucoup plus importants pendant les phases de réfrigération, de conservation et de réchauffage que pendant la phase de congélation.

Nous n'avons pas abordé le deuxième facteur pour les trois raisons suivantes :

- nous n'étions pas équipés pour suivre la cristallisation des produits au microscope.
- nous avons remarqué qu'il y avait une vitesse limite de cristallisation que l'on ne pouvait franchir sans détériorer la structure même des produits (cas de la "trempe" dans l'azote liquide).
- enfin, pour des produits qui dépassent quelques millimètres d'épaisseur, on ne peut jouer que dans de très faibles limites sur la vitesse de cristallisation car le front de cristallisation ralentit considérablement les échanges thermiques (cf. les transferts de chaleur).

### 2°.- Résultats

Nous avons contrôlé le troisième facteur sur deux produits bien distincts :

- la queue de langouste
- le tournedos Duroc.

#### Congélation de queues de langoustes

Nous avons opéré sur des langoustes provenant d'un même lot (langouste rouge bretonne) et d'une fraîcheur irréprochable. Cuites dans le même court-bouillon, les queues de langoustes mises sous cryovac ont été immédiatement congelées en quatre lots différents :

- le premier congelé à - 70°
- le deuxième congelé à - 100°
- le troisième congelé à - 150°
- le quatrième congelé à - 196°

Devant un jury comprenant dix membres et après 24 heures de conservation à - 50° C en ambiance neutre, la dégustation n'a apporté aucune différence significative entre les quatre lots.

.../



### Congélation du Tournedos Duroc

Quatre lots de tournedos provenant d'un même filet de boeuf ont été congelés suivant le même processus :

- le premier lot a été congelé à - 70°
- le deuxième lot a été congelé à - 100°
- le troisième lot a été congelé à - 150°
- le quatrième lot a été congelé à - 196°

Après 24 heures de conservation à - 50° C en ambiance d'azote et devant un jury de 7 membres, la dégustation n'a apporté aucune différence significative entre les quatre lots.

### 3°.- Conclusions

Conformément aux résultats des études de laboratoire concernant les températures de cristallisation totale, nous nous sommes assurés que la température de - 70° C est suffisante pour permettre un blocage complet des réactions enzymatiques dans les plats cuisinés.

## C.- INFLUENCE DE LA CONSERVATION

### 1°.- Les phénomènes en jeu

Deux facteurs peuvent influencer la qualité des plats cuisinés pendant la phase de conservation :

- l'air ambiant qui peut jouer sur les réactions chimiques (principalement les réactions d'oxydation).
- la température de conservation qui peut jouer sur les réactions enzymatiques.

Pour déterminer l'influence de ces deux facteurs, nous avons systématiquement comparé trois plats réalisés par le même chef de cuisine, avec les mêmes composants :

- le premier surgelé à - 70° et conservé en ambiance neutre à - 50°,
- le deuxième surgelé à - 70° et conservé en ambiance oxydante à - 18°,
- le troisième non surgelé mais conservé en ambiance réfrigérée 12 heures environ, comme cela se pratique actuellement en exploitation.

### 2°.- Résultats

Des dégustations au nombre de 45, comprenant 339 notations, nous pouvons extraire un certain nombre d'exemples représentatifs desquels nous tirerons certaines conclusions.

.../



### 1er exemple de volaille en sauce : coq au vin

Ce plat, dégusté le 8 juillet 1963 par 7 dégustateurs, après 64 jours de conservation, a reçu les notes suivantes :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 15,71 |
| - 50° C | : 17,85 |
| - 18° C | : 16,42 |

Il n'est pas étonnant que dans certains cas et, en particulier pour les plats cuisinés en sauce, la qualité de l'échantillon frais puisse être moins bonne que celle des échantillons surgelés car ces derniers ont été saisis aussitôt après cuisson avec un dégel de seulement quelques heures après conservation alors que les frais, comme indiqué plus haut, ont attendu quelquefois plus de 12 heures avant d'être réchauffés.

### 2ème exemple de viande de boucherie en sauce : longe de veau Monselet

Dégusté le 1er juillet 1963 par 9 dégustateurs, après 53 jours de conservation. Les notes ont été les suivantes :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 10,55 |
| - 50° C | : 14,16 |
| - 18° C | : 13,33 |

Mêmes constatations que dans le premier exemple.

### 3ème exemple de viande de boucherie rouge accompagnée de sauce, sans être cuisinée : Journedos Duroc

Dégusté le 15 juillet 1963 par 9 dégustateurs, après 69 jours de conservation :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 15,55 |
| - 50° C | : 17,50 |
| - 18° C | : 14,44 |

Mêmes constatations que dans les deux exemples ci-dessus bien qu'il s'agisse d'une viande rouge difficile à réchauffer.

### 4ème exemple de viande rose grillée - côte d'agneau

Dégusté le 26 novembre 1963 par 6 dégustateurs, après 137 jours de conservation :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 16,10 |
| - 50° C | : 13,33 |
| - 18° C | : 8,88  |

Là, le frais a remporté une note plus élevée que le - 50° car une viande grillée nature a tendance au réchauffage à paraître "lavée".

Par contre, ce qui est très caractéristique, c'est la mauvaise note du surgelé conservé à - 18° en ambiance oxydante, car dans ces conditions de conservation, les graisses de mouton ont tendance à rancir alors qu'en ambiance neutre, elles ne bougent pas.



1er exemple de volaille en sauce : coq au vin

Ce plat, dégusté le 8 juillet 1963 par 7 dégustateurs, après 64 jours de conservation, a reçu les notes suivantes :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 15,71 |
| - 50° C | : 17,85 |
| - 18° C | : 16,42 |

Il n'est pas étonnant que dans certains cas et, en particulier pour les plats cuisinés en sauce, la qualité de l'échantillon frais puisse être moins bonne que celle des échantillons surgelés car ces derniers ont été saisis aussitôt après cuisson avec un dégel de seulement quelques heures après conservation alors que les frais, comme indiqué plus haut, ont attendu quelquefois plus de 12 heures avant d'être réchauffés.

2ème exemple de viande de boucherie en sauce : longe de veau Monselat

Dégusté le 1er juillet 1963 par 9 dégustateurs, après 53 jours de conservation. Les notes ont été les suivantes :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 10,55 |
| - 50° C | : 14,16 |
| - 18° C | : 13,33 |

Mêmes constatations que dans le premier exemple.

3ème exemple de viande de boucherie rouge accompagnée de sauce, sans être cuisinée : Tournedos Duroc

Dégusté le 15 juillet 1963 par 9 dégustateurs, après 69 jours de conservation :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 15,55 |
| - 50° C | : 17,50 |
| - 18° C | : 14,44 |

Mêmes constatations que dans les deux exemples ci-dessus bien qu'il s'agisse d'une viande rouge difficile à réchauffer.

4ème exemple de viande rose grillée - côte d'agneau

Dégusté le 26 novembre 1963 par 6 dégustateurs, après 137 jours de conservation :

|         |         |
|---------|---------|
| frais   | : 16,10 |
| - 50° C | : 13,33 |
| - 18° C | : 8,88  |

Là, le frais a remporté une note plus élevée que le - 50° car une viande grillée nature a tendance au réchauffage à paraître "lavée".

Par contre, ce qui est très caractéristique, c'est la mauvaise note du surgelé conservé à - 18° en ambiance oxydante, car dans ces conditions de conservation, les graisses de mouton ont tendance à rancir alors qu'en ambiance neutre, elles ne bougent pas.



### 5ème exemple de légumes : fonds d'artichauts

Dégusté le 29 juillet 1963 par 7 dégustateurs, après 25 jours de conservation :

|         |   |       |
|---------|---|-------|
| frais   | : | 14,28 |
| - 50° C | : | 15,77 |
| - 18° C | : | 14,28 |

### 6ème exemple de légumes : haricots verts

Dégusté le 29 juillet 1963 par 7 dégustateurs, après 25 jours de conservation :

|         |   |       |
|---------|---|-------|
| frais   | : | 11,42 |
| - 50° C | : | 1,42  |
| - 18° C | : | 1,42  |

Ces deux derniers exemples ont été fournis pour les légumes pour montrer que certains légumes tiennent parfaitement à la surgélation et d'autres très mal.

Ceux qui tiennent sont du type :

- champignons entiers ou en purée,
- petits oignons,
- fonds d'artichauts,
- purée de marrons,
- tomates concassées.

Par contre, ceux qui ne tiennent pas sont du type :

- haricots verts,
- carottes ,
- navets.

### 3°.- Conclusions

Conformément aux résultats des essais en laboratoire concernant les températures de fusion commençante, la température de - 50° C donne de meilleurs résultats que la température de - 18° C pour la conservation des plats cuisinés surgelés.

L'ambiance neutre est un facteur aussi important que les basses températures pour la conservation des plats cuisinés, en particulier pour les plats contenant une quantité notable de corps gras, l'ambiance neutre d'azote les protège contre un rancissement.

Les légumes sont un cas particulier en matière de surgélation car nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les légumes conservés à - 50° C en ambiance neutre et ceux qui étaient conservés à - 18° C en ambiance oxydante.

.../



L'explication de ce phénomène peut être la suivante : les cellules d'un parenchyme végétal ont une forme et une consistance bien déterminées grâce à la pression osmotique qui règne dans chacune de ces cellules; pendant la phase de congélation, la cellule végétale se montre beaucoup plus fragile que la cellule animale et les cristaux de glace qui se forment au fur et à mesure de la congélation la brisent. Pendant la phase de dégel, l'eau qui était retenue dans les cellules s'en échappe et a fortiori, il n'y a plus de pression osmotique dans les cellules : autrement dit, on constate à la dégustation un exsudat important et des tissus végétaux sans aucune consistance.

Ces faits expliquent qu'une bonne conservation ne puisse masquer les détériorations irréversibles qui se produisent dans la phase de congélation des légumes.

#### D.- INFLUENCE DU RECHAUFFAGE

Nous ne détaillerons pas ce paragraphe puisqu'il a déjà été fait état des effets du réchauffage dans le chapitre II.

##### 1°.- Vitesse de réchauffage

Il est théoriquement préférable de procéder à un réchauffage rapide de manière à ce que les dégradations d'ordre chimique ou enzymatique aient une durée la plus courte possible. Mais, dans des fours dont la chaleur est apportée par convection, nous avons constaté qu'un apport excessif de chaleur peut dégrader la structure même des plats cuisinés.

Nous avons donc été conduits à adopter un réchauffage lent pendant la phase de dégel et un réchauffage contrôlé pendant la phase de réchauffage proprement dit.

Cependant, deux améliorations peuvent être apportées :

- réchauffage en ambiance humide
- réchauffage infra-rouge

##### 2°.- Cas des plats en sauce : réchauffage en ambiance humide

Nous avons procédé, pendant les séances de dégustation, à des comparaisons entre des plats préparés par le même chef de cuisine, avec les mêmes composantes et réchauffés de deux manières différentes :

- le premier lot réchauffé en ambiance sèche,
- le deuxième lot réchauffé en ambiance humide.

Par exemple, une dégustation de caneton au vin vieux de Bourgogne devant un jury de 8 membres, après 38 jours de conservation à - 50° C en ambiance neutre, le 8 octobre 1963, a donné les résultats suivants :

- lot réchauffé en ambiance sèche ..... 14,71
- lot réchauffé en ambiance humide ..... 17,85

.../



Il existe donc une différence très significative entre les deux lots dégustés et par conséquent une supériorité incontestable du réchauffage en ambiance humide qui élimine les deux inconvénients suivants :

- dessication des viandes
- "réduction" des sauces.

### 3°.- Cas des grillades : réchauffage infra-rouge

Nous avons procédé à des comparaisons entre des plats préparés par le même chef de cuisine, avec les mêmes composantes et réchauffés de deux manières différentes :

- le premier lot réchauffé en ambiance sèche (réchauffage par convection)
- le deuxième lot réchauffé à l'infra-rouge.

Par exemple une dégustation de tournedos "maître d'hôtel" devant un jury de 7 membres, après 47 jours de conservation à - 50° C en ambiance neutre, le 15 octobre 1963 a donné les notes suivantes :

- lot réchauffé normalement : 12,66
- lot réchauffé à l'infra-rouge : 16,14

Il existe donc une différence très significative entre les deux lots dégustés et par conséquent une supériorité de réchauffage infra-rouge qui élimine l'impression de "viande bouillie".

## E.- INCIDENCES SUR LA TECHNIQUE CULINAIRE

Il a fallu, non seulement adapter la technique du froid aux exigences du plat cuisiné, mais également adapter la technique culinaire à la surgélation, en particulier en ce qui concerne :

- la cuisson des viandes rouges,
- la liaison des sauces,
- la préparation des légumes.

### 1°.- La cuisson des viandes rouges

Les viandes rouges étudiées ont été principalement :

- le filet de boeuf,
- le contre filet de boeuf
- les côtes d'agneau

Qu'il s'agisse de boeuf ou d'agneau, qu'il s'agisse de pièces entières ou de morceaux à trancher, il faut éviter les deux inconvénients suivants :

- exsudat de sang trop important lors du dégel,
- cuisson trop avancée après le réchauffage.

.../



D'une manière générale, la solution à ces deux faits est simple : elle consiste à "ferrer" les viandes de manière à former une légère croûte en surface, et à les cuire "très saignantes", c'est-à-dire "bleues" pour tenir compte d'une cuisson supplémentaire inévitable lors du réchauffage.

Cette solution est valable pour les viandes destinées à être réchauffées et pour les viandes destinées à être utilisées froides en assiette anglaise.

## 2°.- La "liaison" des sauces.

D'un point de vue physique, les sauces sont des émulsions instables et leur "liaison" est soumise à rude épreuve en surgélation.

Nous nous proposons de répondre succinctement aux deux questions suivantes :

- quels sont les principaux modes de liaison ?
- quelles sont les liaisons adoptées en matière de surgélation ?

### a) les principaux modes de liaison

#### - liaisons avec les roux

Les roux sont composés de beurre et de farine dans des proportions bien précises (500 g de beurre pour 600 g de farine) et leur cuisson, plus ou moins avancée, donne les colorations suivantes :

Roux blanc : sa cuisson est limitée à quelques minutes, c'est-à-dire simplement le temps nécessaire pour faire disparaître le goût de farine crue.

Les roux blancs sont utilisés pour la préparation de la Béchamelle et du velouté de volaille (sauce suprême).

Roux blond : sa cuisson doit être conduite très doucement jusqu'au moment où le roux a pris une teinte légèrement blonde. Les roux blonds sont généralement utilisés pour la préparation des veloutés de poisson.

Roux brun : sa cuisson doit être conduite lentement pour permettre la transformation progressive de l'amidon en dextrines solubles. Le beurre n'étant ici que le facteur de cuisson de la farine, l'emploi de beurre clarifié s'impose car la caséine est nuisible à la cuisson régulière du roux.

Le roux brun est principalement destiné à la préparation d'une sauce de base, l'Espagnole.

#### - liaisons à la fécule ou à l'Arrow-root

L'amidon étant le seul élément de la farine qui compte dans la préparation des roux, on peut envisager la préparation des roux avec de l'amidon pur, fécule ou arrow-root.

Actuellement, la fécule et l'arrow-root sont utilisés pour la préparation des fonds de veau liés, la fécule étant délayée dans un peu de vin blanc ou d'eau et mélangée au fonds bouillant.



### - Liaisons au beurre manié

Dans les liaisons avec le roux, on a vu que la farine et le beurre étaient cuits, puis incorporés à la sauce.

La liaison au beurre manié consiste au contraire à incorporer du beurre et de la farine malaxés, mais non cuits à la sauce une fois cuite.

C'est le mode de liaison utilisé pour la préparation du coq au vin, du caneton au vin et du homard à l'américaine.

### b) Les liaisons en surgélation

On conçoit aisément que le choc thermique de la phase de congélation et de la phase de réchauffage puisse détruire ces "liaisons" qui sont relativement fragiles.

Deux solutions se présentent pour résoudre le problème des liaisons dans son ensemble :

- utiliser des twins pour stabiliser les émulsions que sont les sauces,
- augmenter la proportion d'amidon pour "coller" les sauces.

Nous n'avons pas retenu la première solution car les twins (principalement utilisés dans l'industrie pharmaceutique) ont un goût très désagréable, même lorsqu'ils sont employés à de très faibles doses de l'ordre de 1/1000.

Nous n'avons pas non plus retenu la deuxième solution car elle dénaturait les sauces ; en effet, si les proportions des constituants des sauces ont été établies d'une manière empirique, il est remarquable de constater qu'elles correspondent à une présentation, une structure et un goût bien déterminés. C'est ainsi que lorsqu'on "colle" les sauces par un excédent de farine, on obtient un résultat très médiocre à la dégustation.

Nos recherches ont donc consisté à déterminer d'une manière empirique, et pour chaque plat, le mode de liaison le mieux adapté.

Par exemple, la sauce d'un saumon braisé au Riesling a tendance à se "déliaer" au réchauffage avec une liaison à "l'hollandaise". La " hollandaise" est préparée avec du jaune d'oeuf fouetté à chaud et monté avec du beurre fondu, puis incorporée à la sauce.

Nous avons essayé une liaison au jaune d'oeuf : le jaune d'oeuf délayé dans un peu d'eau est incorporé au velouté et cuit ensuite.

La liaison au jaune d'oeuf est préférable à la liaison à "l'hollandaise" car le jaune d'oeuf cuit ne se décompose pas au réchauffage.

.../



### 3°.- Préparation des légumes

Nous avons vu que les légumes étaient très délicats à surgeler et qu'il fallait se limiter à un nombre très réduit.

La difficulté peut cependant être tournée par certaines préparations élaborées : par exemple, la pomme de terre donne d'excellents résultats sous forme de "palets de pommes de terre". En effet, le légume "travaillé" n'a plus de structures à respecter et son goût peut être conservé aisément en surgélation.

### 4°.- Liste des plats retenus

#### - Hors d'oeuvre chaude

Poissons : Filets de sole AIR FRANCE  
Filets de sole Belle Meunière  
Homards à l'Armoricaine  
Filets de sole Bouillonnaise  
Saumon braisé au Riesling

#### - Viandes

Volaille : Caneton au vin vieux de Bourgogne  
Coq au vin  
Poulet sauté au Champagne  
Poulet sauté Niçoise  
Caneton à l'orange

Bœuf : Tournedos sauté Duroc  
Filet de bœuf Stroganoff  
Filet de bœuf à la Parisienne  
Filet de bœuf Limousin

Veau : Longe de veau Monselet  
Médallion de veau Zingara  
Côte de veau Basquaise  
Sauté de veau chasseur  
Côte de veau sauté Colmarienne  
Fricassée de veau à l'ancienne  
Médallion de veau Vallée d'Auge ou longe de veau  
Ris de veau champignons

Mouton : Navarin aux pommes  
Côtes de mouton Champvallon

Gibier : Râble de lièvre sauce Poivrade  
Salmis de Perdreau  
Faisan au Champagne.

#### - Légumes

Champignons - Petits pois - Fonds d'artichauts sautés Monselet - Tomates - Epinards -  
Céleris en branches - Fenouil - Purée de marrons - Choux braisés - Poivrons - Salsifis -  
Pommes vapeur - Palets de pommes de terre - riz - nouilles fraîches.



## • Soufflés

Soufflé au fromage - Soufflé Grand Marnier, Rotschild, Marie Brizard.

## F.- CONCLUSIONS

Des examens organoleptiques, nous avons pu dégager les conclusions suivantes :

- 1.- La qualité des matières premières rentrant dans la composition des plats est prépondérante.
- 2.- La température de - 70° C que nous avons adoptée pour la phase de congélation est suffisamment basse sans qu'il soit nécessaire d'aller plus bas, la qualité des plats ne s'améliorant pas pour autant.
- 3.- La température de - 50° C est à la fois nécessaire et suffisante pour la phase de conservation.
- 4.- L'ambiance neutre est également nécessaire pendant la phase de conservation, notamment pour protéger les plats contenant une quantité notable de corps gras contre le rancissement.
- 5.- Les viandes rouges, qu'elles soient destinées à être réchauffées ou à être utilisées froides en assiette anglaise, doivent toujours être, à la cuisson, "ferrées" pour former une légère croûte de manière à éviter une exsudation du sang lors du dégel.
- 6.- Elles doivent, d'autre part, être cuites "très saignantes" c'est-à-dire "bleues" pour tenir compte d'une cuisson supplémentaire inévitable lors du réchauffage.
- 7.- La présence d'alcool dans les sauces favorise la solubilité des dextrines provenant de la farine et améliore leur "liaison".
- 8.- Certaines "liaisons" de sauces sont préférables à d'autres et c'est ainsi que l'on choisira la "liaison au jaune d'oeuf" plutôt que la "hollandaise".
- 9.- Par contre, il est souhaitable d'éliminer certaines sauces à base de crème fraîche, la sauce ayant tendance au moment du réchauffage, à faire apparaître des "yeux" de beurre fondu.
- 10.- Les légumes doivent être utilisés en surgelé avec beaucoup de précautions en ne retenant que ceux qui donnent de bons résultats comme indiqué ci-dessus et en éliminant pour les garnitures de viande rouge les légumes aqueux ou retenant mal leur eau, ceux-ci dégageant au réchauffage de la vapeur et "lavant" la viande.



## TROISIEME PARTIE

## L'EXPLOITATION DE LA SURGELATION

-----

Nous pouvons considérer les essais auxquels nous nous sommes livrés, tant en laboratoire qu'en chaîne expérimentale et au cours des tests organoleptiques comme extrêmement satisfaisants et encourageants.

C'est pourquoi nous pensons que l'on peut passer à la phase d'exploitation sans crainte de dégradation des prestations, et c'est la raison pour laquelle nous avons :

- . conçu une chaîne d'exploitation,
- . mis au point un programme d'exploitation.

A.- CONCEPTION D'UNE CHAÎNE D'EXPLOITATION

Le but final étant de remplacer les prestations locales de toutes les escales du réseau d'AIR FRANCE(x) par des prestations (plats cuisinés et viandes froides) préparées et surgelées au centre d'ORLY, nous avons jugé toutefois plus prudent de nous limiter, dans une première phase, à une quinzaine d'escales.

Nous avons donc conçu, pour la première phase d'exploitation, une chaîne capable de traiter en congélation, conservation, transport et réchauffage, 140 000 portions par an, étant entendu que cette première phase doit s'inscrire dans un plan d'extension.

1°.- La première phase d'exploitation

Voici, brièvement décrits, les équipements que nous avons conçus pour le centre d'ORLY et dont la FIGURE 42 montre l'implantation.

a) Aspects quantitatifs

- . Pour cette 1ère tranche, le congélateur expérimental est suffisant, sous condition d'absorber les pointes de production par une congélation entièrement faite à l'azote liquide, réduisant ainsi les temps de 3h.30 en moyenne à 45 minutes environ.
- . Par contre, les conservateurs d'expérimentation sont tout à fait insuffisants, bien que nous envisagions de les garder pour des besoins annexes.

Nous avons donc conçu une chambre de stockage type "piscine" pouvant contenir 10 000 rations simultanément, et nous avons opté pour un équipement fonctionnant à l'azote liquide de préférence à une chambre classique

.../

(x) A l'exception de l'escale d'ORLY dont les avions en partance seront avitaillés par le Service d'Armement et de Ravitaillement Hôtelier en prestations fraîches.



maintenue en froid par des compresseurs, mais n'offrant pas les mêmes avantages :

- de basse température,
- d'ambiance neutre,
- de souplesse

## b) Aspects qualitatifs

Conformément aux conclusions que nous avons dégagées de l'expérimentation, nous avons retenu les principes suivants :

- congélation à  $- 70^{\circ} \text{C}$
- conservation à  $- 50^{\circ} \text{C}$  en ambiance neutre

Il existe cependant un problème qui n'est pas apparu pendant cette expérimentation parce que nous avons toujours travaillé sur de petites quantités, et c'est le problème bactériologique. L'aspect bactériologique pourrait cependant être posé, même en période d'expérimentation, pour des produits de qualité secondaire; en réalité, nous avons toujours travaillé avec des produits d'une qualité irréprochable et tous les contrôles effectués ont été satisfaisants, qu'il s'agisse de plats destinés à être servis frais ou à être surgelés, le problème bactériologique ne pourrait donc se poser que d'une manière tout à fait accidentelle.

En exploitation, un foisonnement bactériologique peut se produire s'il existe un délai trop long entre le moment où les plats sont préparés et celui où ils entrent dans le congélateur.

En effet, pendant la congélation ou la conservation, si les microorganismes ne sont pas tués, leur développement est entièrement "bloqué" aux températures envisagées.

Trois solutions sont possibles pour réduire le "temps mort" entre la fin de la préparation culinaire et le début de la congélation :

- échelonner la fabrication des plats cuisinés sur les cadences de congélation, c'est-à-dire préparer 225 rations toutes les 4 heures,
- entreposer les plats chauds dans des chambres froides, soit celles utilisées pour les matières premières, soit les conservateurs d'expérimentation dont les thermostats seraient réglés à  $+ 5^{\circ} \text{C}$ ,
- augmenter la capacité de congélation en faisant des congélations entièrement à l'azote liquide ou en prévoyant un 2<sup>me</sup> congélateur.

L'achat d'un deuxième congélateur étant écarté dans l'immédiat pour des raisons financières, nous devons nous limiter aux 2 premières solutions.

## c) Aspects économiques

La chambre de conservation doit avoir une consommation minime en azote liquide, car le coût de la conservation dans les conservateurs expérimentaux était excessif.

Nous avons donc conçu une chambre cubique puisque le cube présente une surface latérale minimum pour un volume donné et puisque les rentrées de chaleur par les parois sont proportionnelles à leur surface. Cette chambre mesurant env. 4m. de côté, il était donc nécessaire de l'enterrer et c'est pour cette raison qu'elle est nommée de type "piscine".

De plus, nous avons choisi une ouverture par le haut qui entraîne des pertes beaucoup moins importantes qu'une ouverture latérale.

Nous avons choisi une isolation importante et efficace pour limiter au maximum les rentrées de chaleur par les parois.

La consommation d'azote liquide devant être supérieure à celle qui a été constatée pendant la phase d'expéri-



mentation, nous avons prévu un tank de stockage d'une capacité de 5 000 litres, les pertes d'un tank d'une telle capacité étant proportionnellement beaucoup moins importantes que celles d'un tank de 600 litres.

La distribution de l'azote liquide du tank de stockage au congélateur et à la chambre de conservation devra être assurée par une ligne très bien isolée, présentant les pertes minima; nous avons donc prévu une ligne isolée sous-vide.

Les temps d'ouverture des portes du congélateur et de la chambre de conservation devant être les plus courts possibles, nous avons prévu un pont roulant ~~mu~~ électriquement et devant assurer une manutention rapide.

## 2°.- Le plan d'extension

Les besoins de toutes les escales du réseau d'AIR FRANCE, l'escale d'ORLY étant exclue, peuvent représenter dans le proche avenir 560 000 rations par an.

Nous avons donc conçu un plan où l'on puisse implanter :

- deux congélateurs supplémentaires,
- deux chambres "type piscine" supplémentaires

permettant d'obtenir un stockage simultané de 30 000 rations et cela sans modifier les équipements de la première phase d'exploitation; c'est ainsi que le pont roulant prévu dans la 1ère phase pourra alimenter les deux congélateurs et les deux chambres supplémentaires. De la même manière, des piquages ont été prévus sur la ligne sous-vide pour alimenter les deux chambres futures.

## B.- REALISATION DE LA PREMIERE PHASE D'EXPLOITATION

La figure 42 montre ce que doit être cette réalisation pour laquelle nous avons procédé à l'établissement :

- d'un cahier des charges,
- d'un protocole d'essais pour la réception de l'installation,
- d'une convention de fourniture en azote liquide avec la Société AIR LIQUIDE.

Pour la rédaction du cahier des charges, nous avons profité de notre expérience technologique de la chaîne expérimentale, et des solutions proposées aux difficultés rencontrées pendant la période d'expérimentation, en particulier en ce qui concerne les points suivants :

- la régulation thermostatique sera assurée par des thermostats à sondes à résistance de platine, car les thermostats "bilames" ou les thermostats à bulbes ne se sont pas révélés suffisamment précis et fidèles,
- l'alimentation de la chambre de conservation en azote liquide sera assurée par un système d'électrovannes et d'alarmes permettant de parer immédiatement les deux pannes constatées :
  - blocage en position fermée
  - blocage en position ouverte,
- le dégazage de la chambre de conservation sera effectué au travers de soupapes tarées à quelques grammes, ce qui permettra d'éviter :
  - des ponts thermiques,
  - des rentrées d'humidité,

sans entrer dans le détail de ce cahier des charges, rappelons les points suivants

.../



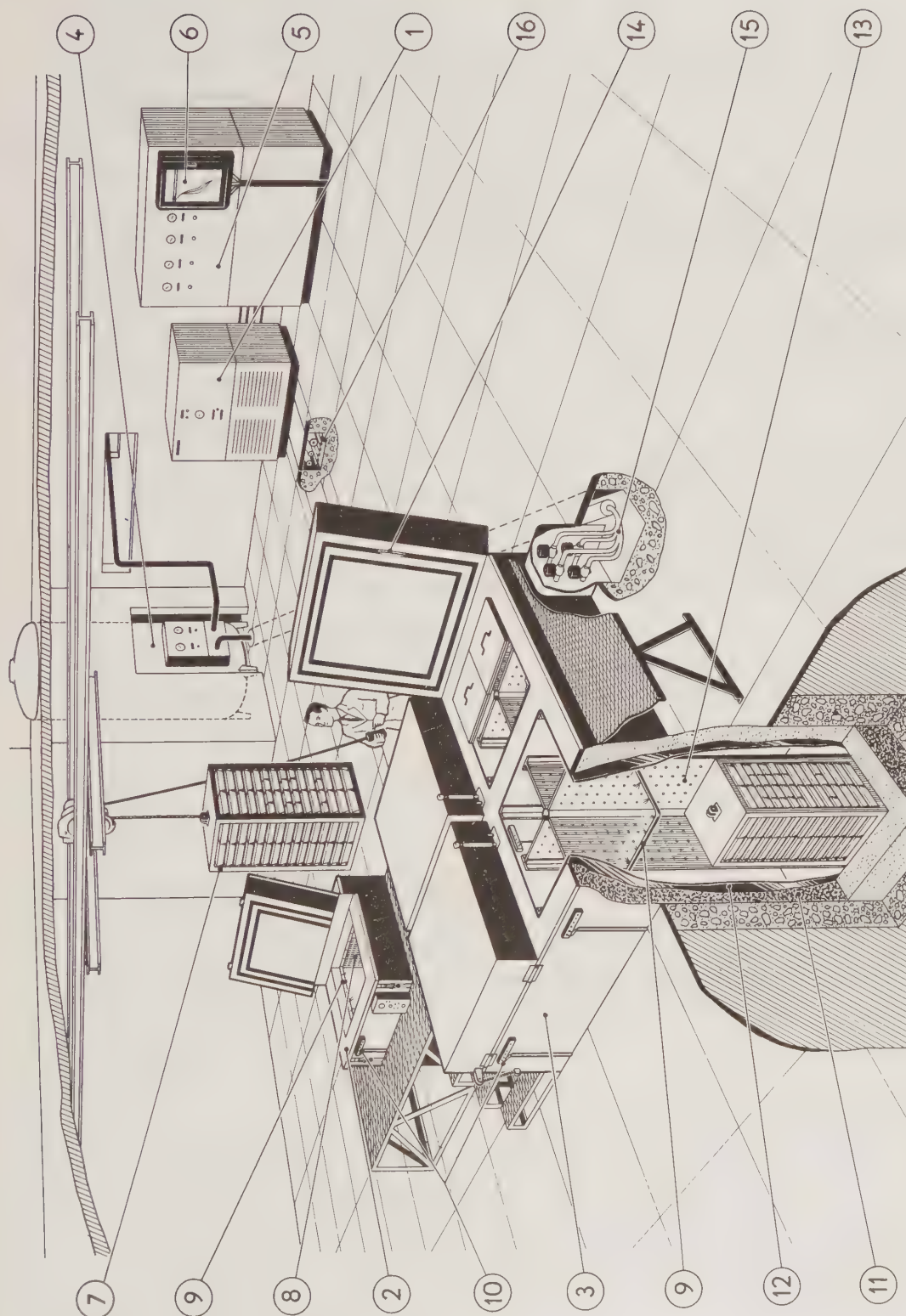


FIGURE 42 - IMPLANTATION DE LA CHAÎNE D'EXPLOITATION - 1/ Compresseur 2/ Congélateur 3/ Chambre de conservation 4/ Tank de 5.000 litres d'azote liquide 5/ Tableau de commande 6/ Potentiomètre enregistreur de températures 7/ Panier de manutention 8/ Evaporateur 9/ Rampes d'aspiration d'azote liquide 10/ Plaques à bornes 11/ Mousse de polyuréthane expansée 12/ Paroi en acier inoxydable 13/ Parois hémiperméables en acier inoxydable 14/ Résistance chauffante 15/ Electro-vannes raccordées à la tuyauterie d'azote liquide isolée sous-vide 16/ Tuyauteries de fréon 22 et cablagés électriques.



concernant la chambre de conservation et la ligne d'alimentation en azote liquide :

### 1°.- Chambre de conservation

Elle sera constituée par une enveloppe isotherme en sandwich verre polyester, polyuréthane expansé au fréon, d'une épaisseur de 300 mm. L'enveloppe isotherme sera formée à l'intérieur par un stratifié de composition spéciale résistant aux chocs thermiques et à l'extérieur par un stratifié résistant à l'humidité.

Les dimensions extérieures de cette enveloppe seront de 3,40 m X 3,30 m sur 2,60 m de hauteur.

Les couvercles seront montés sur charnières à ressorts permettant une ouverture facile et fermés par un système à vis : leur étanchéité sera obtenue par 2 joints tubulaires en néoprène spécial basse température. La résistance électrique à l'intérieur de ces joints permettra leur dégivrage éventuel, une minuterie limitera le temps de chauffage.

A l'intérieur de cette enveloppe sont prévues 4 cuves en acier inoxydable ainsi que, par cuve, 4 cloisons en 2 parties en acier inoxydable perforé. L'acier inoxydable des cuves est prévu pour convenir aux basses températures (18-8 à bas carbone).

### Contrôle de la régulation

Le contrôle de la régulation de la température dans chaque cuve sera assuré par un Reglindex Brion Leroux à sonde de résistance de platine ayant une échelle de - 100 à + 10° C et comportant :

- un index de régulation réglable de - 63° C à - 20° C (commande d'électrovanne),
- un index d'alarme fixe à - 85° C (commande alarme sonore et lumineuse),
- un index d'alarme mobile réglable de - 15° C à + 10° C (commande alarme sonore et lumineuse).

### Alimentation en azote liquide

L'alimentation en azote liquide de chacune des 4 cuves sera assurée par un dispositif comportant 2 électrovannes Skinner V 5 pour un courant 220 V et 2 vannes manuelles.

### Consommation d'azote

La consommation d'azote prévue en régime permanent à - 50° C est de 4 l/h. Cette quantité ne comporte pas les pertes dues aux ouvertures qui ne peuvent être chiffrées, ni les entrées de chaleur dues aux ventilateurs, s'il s'avère nécessaire d'installer ceux-ci.

### 2°.- Ligne d'alimentation en azote liquide

Cette ligne isolée sous vide est destinée à alimenter la chambre froide en azote liquide à partir du tank de stockage. Elle aura un diamètre intérieur de 20 mm et un diamètre extérieur de 100 mm environ. Les entrées de chaleur, pour la ligne seule, correspondront à une consommation d'azote de 0,02 l/h et par m de longueur. Ce chiffre ne comprend pas les pertes dues aux vannes.

## C.- LE TRANSPORT

. Compte tenu des durées de transport entre ORLY et les différentes escales, qui s'échelonnent entre 4 et 31 heures, trois facteurs sont à envisager pour déterminer le mode de transport des produits surgelés :

- la nécessité d'avoir une température constamment inférieure à 18° C,
- la rentabilité du container par rapport au carton (avec carboglace),
- la souplesse d'exploitation de l'emballage consommable (carton) par rapport au container.

Nous entendons par "durée de transport" le temps global comprenant le temps d'embarquement, la durée du vol et le temps de débarquement,

. le 1er facteur impose l'emploi du container pour les transports dont la durée excède 20 heures (voir FI-



Figure 30), c'est-à-dire pour les escales suivantes :

- TOKIO
- MANILLE
- HONG KONG
- LIMA
- BUENOS-AIRES
- TANANARIVE
- BANGKOK

- . Par contre, pour les transports dont la durée est inférieure à 20 heures, il faut choisir entre le container et l'emballage consommable (carton avec des panneaux de polystyrène expansé de 5 cm et carboglace).

Le tableau suivant donne les caractéristiques de containers destinés à transporter des produits surgelés en 10, 20 ou 30 heures, le poids des produits étant proportionnel au volume utile :

CARACTERISTIQUES DES CONTAINERS EN FONCTION DE LA DUREE DU TRANSPORT

| DUREE du TRANSPORT     | Épaisseur<br>de l'isolant | Cotes internes en m. |      |      | Volume utile<br>en m <sup>3</sup> | Cotes externes en m. |      |      | Volume brut<br>en m <sup>3</sup> |
|------------------------|---------------------------|----------------------|------|------|-----------------------------------|----------------------|------|------|----------------------------------|
|                        |                           | l                    | L    | h    |                                   | l                    | L    | h    |                                  |
| Container 30 h.        | 10 CM                     | 0,48                 | 0,63 | 0,53 | 0,16                              | 0,68                 | 0,83 | 0,73 | 0,41                             |
| Container 1re Solution | 10 CM                     | 0,43                 | 0,53 | 0,43 | 0,098                             | 0,63                 | 0,73 | 0,63 | 0,29                             |
| 20 h. (2me Solution    | 7 CM                      | 0,48                 | 0,63 | 0,53 | 0,16                              | 0,62                 | 0,77 | 0,67 | 0,32                             |
| Container 1re Solution | 10 CM                     | 0,38                 | 0,43 | 0,43 | 0,070                             | 0,58                 | 0,63 | 0,63 | 0,23                             |
| 10 h. (2me Solution    | 7 CM                      | 0,43                 | 0,53 | 0,43 | 0,098                             | 0,57                 | 0,67 | 0,57 | 0,22                             |
| (3me Solution          | 5 CM                      | 0,48                 | 0,60 | 0,50 | 0,14                              | 0,58                 | 0,70 | 0,60 | 0,24                             |

- . Le container "10 heures" ayant des dimensions trop grandes pour les soutes de CARAVELLE, nous sommes donc obligé d'opter pour l'emballage consommable; en effet, on pourrait concevoir des containers de format plus réduit avec utilisation de carboglace, mais alors le container ne serait plus rentable.
- . Pour le container "20 heures", le choix reste entier; compte tenu des difficultés que le retour à vide des containers peut présenter et compte tenu que nous ne savons pas quelle sera la résistance mécanique des containers, nous procéderons de la manière suivante :

Pendant la première phase d'exploitation, nous utiliserons l'emballage consommable pour les transports dont la durée est comprise entre 10 heures et 20 heures en repoussant le choix à la fin de cette première phase.

.../



Si le container s'avère alors facile d'emploi et suffisamment robuste pour être extrêmement rentable, il sera adopté; dans le cas contraire, l'exploitation continuera à se faire avec des emballages consommables.

En conclusion, il faut prévoir une série de 10 à 15 containers du type "30 heures" pour cette première phase d'exploitation et repenser le problème lorsque les utilisateurs auront acquis suffisamment d'expérience pour faire un choix définitif.

#### D.- PROGRAMME DE MISE EN PLACE ET DE DIFFUSION SUR LE RESEAU .....

##### 1°.- Le programme

Ce programme fera l'objet d'une instruction pour toutes les escales intéressées, et nous n'en donnons ici que les points principaux. Les 4 tableaux suivants donnent successivement :

- a.- les prévisions annuelles de ravitaillement des escales en nombre de rations et les poids nets mensuels correspondants,
- b.- les fréquences et les types d'appareils utilisés pour l'acheminement du ravitaillement ainsi que la durée totale du transport (depuis le centre d'ORLY jusqu'à l'entrepôt en escale),
- c.- le calendrier de ravitaillement des escales ainsi que les poids nets par Service,
- d.- le type et le nombre des emballages pour le ravitaillement hebdomadaire de chaque escale ainsi que les poids bruts hebdomadaires des expéditions aux escales.

.../



## a.- PREVISION ANNUELLE RAVITAILLEMENT ESCALES (RATIONS) - POIDS NET MENSUEL

|                | Prévision<br>annuelle<br>1964<br>Rations | Prévision<br>annuelle<br>1965<br>Rations | Nombre<br>Rations<br>mensuelles<br>1964 | Nombre<br>Rations<br>mensuelles<br>1965 | Poids net<br>mensuel<br>1964 | Poids net<br>mensuel<br>1965 | NOTA -<br>1 ration = 250 grs |
|----------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| RIO DE JANEIRO | 7 050                                    | 12 700                                   | 588                                     | 1 058                                   | 147 Kg                       | 265 Kg                       |                              |
| POINTE-à-PITRE | 15 700                                   | 16 850                                   | 1 308                                   | 1 404                                   | 327 Kg                       | 351 Kg                       |                              |
| DAKAR          | 37 200                                   | 20 000                                   | 3 100                                   | 1 667                                   | 775 Kg                       | 417 Kg                       |                              |
| BANGKOK        | 19 000                                   | 20 400                                   | 1 584                                   | 1 700                                   | 396 Kg                       | 425 Kg                       |                              |
| TEHERAN        | 10 400                                   | 11 200                                   | 867                                     | 934                                     | 217 Kg                       | 234 Kg                       |                              |
| TEL AVIV       | 10 800                                   | 9 000                                    | 900                                     | 750                                     | 225 Kg                       | 188 Kg                       |                              |
| HONG KONG      | 7 300                                    | 7 800                                    | 608                                     | 650                                     | 152 Kg                       | 163 Kg                       |                              |
| ALGER          | 9 000                                    | 10 000                                   | 750                                     | 833                                     | 188 Kg                       | 208 Kg                       |                              |
| ANCHORAGE      | 8 500                                    | 1 500                                    | 708                                     | 125                                     | 177 Kg                       | 31 Kg                        |                              |
| MARSEILLE      | 2 500                                    | 2 700                                    | 208                                     | 225                                     | 52 Kg                        | 56 Kg                        |                              |
| MOSCOU         |                                          | 1 200                                    |                                         | 100                                     |                              | 25 Kg                        |                              |
| ATHENES        | 10 900                                   | 20 000                                   | 908                                     | 1 667                                   | 227 Kg                       | 417 Kg                       |                              |
| NICE           | 3 300                                    | 3 500                                    | 275                                     | 292                                     | 69 Kg                        | 73 Kg                        |                              |
| CASABLANCA     | 8 800                                    | 5 500                                    | 734                                     | 458                                     | 184 Kg                       | 115 Kg                       |                              |
| NAIROBI        |                                          | 5 000                                    |                                         | 417                                     |                              | 104 Kg                       |                              |
| TANANARIVE     |                                          | 10 000                                   |                                         | 833                                     |                              | 208 Kg                       |                              |
| LISBONNE       |                                          | 1 000                                    |                                         | 84                                      |                              | 21 Kg                        |                              |
| BUENOS-AYRES   |                                          | 4 500                                    |                                         | 375                                     |                              | 94 Kg                        |                              |
| LIMA           |                                          | 7 000                                    |                                         | 584                                     |                              | 146 Kg                       |                              |
| MANILLE        |                                          | 2 400                                    |                                         | 200                                     |                              | 50 Kg                        |                              |
| TOKYO          |                                          | 19 000                                   |                                         | 1 584                                   |                              | 396 Kg                       |                              |
| LOS ANGELES    |                                          | 7 000                                    |                                         | 584                                     |                              | 146 Kg                       |                              |
| CHICAGO        |                                          | 4 400                                    |                                         | 367                                     |                              | 92 Kg                        |                              |
| MONTREAL       |                                          | 30 000                                   |                                         | 2 500                                   |                              | 625 Kg                       |                              |
| MEXICO         |                                          | 22 000                                   |                                         | 1 834                                   |                              | 459 Kg                       |                              |
|                |                                          |                                          |                                         | 21 225                                  | 3 136 Kg                     | 5 309 Kg                     |                              |



b.- FREQUENCES ET TYPES APPAREILS UTILISES POUR ACHEMINEMENT RAVITAILLEMENT  
 DUREE TOTALE TRANSPORT (DEPART QUAI SARH / MISE EN CONSERVATEUR DESTINATION)

|                | Fréquences hiver |                     | Fréquences été |                          | DUREE TOTAL TRANSPORT     |                        |              |                |
|----------------|------------------|---------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------|----------------|
|                | Type             | 1964/65             | Type           | 1965                     | En vol                    | Au sol                 | Délai départ | TEMPS          |
|                | app.             |                     | app.           |                          |                           | temps escale           | et arrivée   | TOTAL          |
| RIO DE JANEIRO | B                | 2/7                 | B              | 3/7                      | 12h.                      | 1h.                    | 1,50 + 1     | 15,50          |
| POINTE-à-PITRE | B                | 2/7                 | B              | 4/7                      | 9h.30                     | 1h.                    | 1,50 + 1     | 13,20          |
| DAKAR          | B                | 3/7                 | B              | 3/7                      | 6h.15                     | 0h.35                  | 1,50 + 1     | 9,40           |
| BANGKOK        | B                | 5/7                 | B              | 5/7                      | 12h.40                    | 3h.10                  | 1,50 + 1     | 18,40          |
| TEHERAN        | B                | 5/7                 | B              | 5/7                      | 6h.                       | 1h.10                  | 1,50 + 1     | 10,-           |
| TEL AVIV       | B                | 2/7                 | B              | 2/7                      | B. 4h.35                  | 1h.10                  | 1,50 + 1     | 8,35           |
|                | C                | 4/7                 | C              | 5/7                      | C. 5h.10                  | 0h.35                  | 2,10 + 1     | 8,55           |
| HONG KONG      | B                | 4/7                 | B              | 3/7                      | 16h.                      | 5h.10                  | 1,50 + 1     | 24,-           |
| ALGER          | C                | 10/7                | C              | 13/7                     | C. 2h.10                  | -                      | 2,10 + 1     | 5,20           |
|                | Bréguet          | 6/7                 | Super          | 6/7                      | Brég. 4h.50               | 1h.15                  | 1,50 + 1     | 8,55           |
| ANCHORAGE      | B                | 2/7                 | B              | 2/7                      | 14h.25                    | 1h.                    | 1,50 + 1     | 18,15          |
| MARSEILLE      | B                | 1/7                 | B              | 1/7                      | B. 1h.05                  | -                      | 1,50 + 1     | 3,55           |
|                | C                | 13/7                | C              | 15/7                     | C. 1h.15                  | -                      | 2,10 + 1     | 4,25           |
|                | Bréguet          | 6/7                 |                |                          |                           |                        |              |                |
| MOSCOU         | C                | 2/7                 | C              | 2 mois 2/7<br>4 mois 3/7 | 4h.25                     | 0h.40                  | 2,10 + 1     | 8,15           |
| ATHENES        | B                | 3/7                 | B              | 4/7                      | B. 2h.50                  | -                      | 1,50 + 1     | 5,40           |
|                | C                | 11/7                | C              | 11/7                     | C. 3h.45                  | 0h.45                  | 2,10 + 1     | 7,40           |
| NICE           | C                | 24/7                | C              | 42/7                     | 1h.20                     | -                      | 2,10 + 1     | 4,30           |
| CASABLANCA     | C                | 8/7                 | C              | 10/7                     | C. 3h.30                  | 0h.40                  | 2,10 + 1     | 7,20           |
|                |                  |                     | Super          | 3/7                      | Super 4h.45               | -                      | 1,50 + 1     | 7,35           |
| NAIROBI        | B                | 1/7                 | B              | 2/7                      | 9h.35                     | 1h.40                  | 1,50 + 1     | 14,05          |
| TANANARIVE     | B                | 2/7                 | B              | 3/7                      | 13h.                      | 3h.15                  | 1,50 + 1     | 19,05          |
| LISBONNE       | B                | 2/7                 | B              | 3/7                      | B. 2h.10                  | -                      | 1,50 + 1     | 5,-            |
|                | C                | 3/7                 | C              | 6/7                      | C. 2h.30                  | -                      | 2,10 + 1     | 5,40           |
| BUENOS AYRES   | B                | 2/7                 | B              | 2/7                      | 16h.05                    | 1/7 2h.45<br>1/7 0h.55 | 1,50 + 1     | 21,40<br>19,50 |
| LIMA           | B                | 2/7                 | B              | 2/7                      | 15h.30                    | 4h.10                  | 1,50 + 1     | 22,30          |
| MANILLE        | B                | 1/7                 | B              | 2/7                      | 16h.10                    | 5h.10                  | 1,50 + 1     | 24,10          |
| TOKIO          | B                | Pôle 2/7<br>Sud 5/7 | B              | Pôle 2/7<br>Sud 5/7      | Pôle 22h.05<br>Sud 21h.05 | 2h.<br>6h.20           | 1,50 + 1     | 26,55<br>30,15 |
| LOS ANGELES    | B                | 2/7                 | B              | 4/7                      | 13h.15                    | 1h.                    | 1,50 + 1     | 17,05          |



|          | Fréquence hiver |         | Fréquence été |      | DUREE TOTALE TRANSPORT |              |                         |       |
|----------|-----------------|---------|---------------|------|------------------------|--------------|-------------------------|-------|
|          | Type            | 1964/65 | Type          | 1965 | Au sol                 |              | Temps                   |       |
|          | app.            |         | app.          |      | En vol                 | temps escale | Délai départ et arrivée | TOTAL |
| CHICAGO  | B               | 4/7     | B             | 6/7  | 9h.35:                 | 1h.          | 1,50 + 1                | 13,25 |
| MONTREAL | B               | 5/7     | B             | 6/7  | 7h.30:                 | -            | 1,50 + 1                | 10,20 |
| MEXICO   | B               | 4/7     | B             | 4/7  | 13h.00:                | 1h.30        | 1,50 + 1                | 17,20 |

## CALENDRIER RAVITAILLEMENT ESCALES - POIDS NET PAR SERVICE

|                | Poids net |         | Poids net |              | Poids net par     |                    | Poids net par    |                  | Poids net par    |  | Poids net par |  |
|----------------|-----------|---------|-----------|--------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|--|---------------|--|
|                | moyen     | mensuel | moyen     | hebdomadaire | Service avec      | totalité fréquence | service avec 3/7 | service avec 2/7 | service avec 1/7 |  |               |  |
|                | 1965      |         | 1965      |              | hiver             | été                | Poids : Volume   | Poids : Volume   | Poids : Volume   |  |               |  |
| RIO DE JANEIRO | 265 Kg    |         | 66 Kg     |              | 33 Kg             | 22 Kg              | 22 Kg : 0,044    | 33 Kg : 0,066    | 66 Kg : 0,132    |  |               |  |
| MONTE-à-PITRE  | 351 Kg    |         | 88 Kg     |              | 44 Kg             | 22 Kg              | 29 Kg : 0,058    | 44 Kg : 0,088    | 88 Kg : 0,172    |  |               |  |
| DAKAR          | 417 Kg    |         | 104 Kg    |              | 35 Kg             | 35 Kg              | 35 Kg : 0,070    | 52 Kg : 0,104    | 104 Kg : 0,208   |  |               |  |
| BANGKOK        | 425 Kg    |         | 106 Kg    |              | 21 Kg             | 21 Kg              | 35 Kg : 0,070    | 53 Kg : 0,104    | 106 Kg : 0,212   |  |               |  |
| TEHERAN        | 234 Kg    |         | 59 Kg     |              | 12 Kg             | 12 Kg              | 20 Kg : 0,040    | 30 Kg : 0,058    | 59 Kg : 0,118    |  |               |  |
| TEL AVIV       | 188 Kg    |         | 47 Kg     |              | 8 Kg              | 7 Kg               | 16 Kg : 0,032    | 24 Kg : 0,048    | 47 Kg : 0,094    |  |               |  |
| HONG KONG      | 163 Kg    |         | 41 Kg     |              | 10 Kg             | 14 Kg              | 14 Kg : 0,028    | 21 Kg : 0,044    | 41 Kg : 0,082    |  |               |  |
| ALGER          | 208 Kg    |         | 52 Kg     |              | 3 Kg              | 3 Kg               | 17 Kg : 0,034    | 26 Kg : 0,052    | 52 Kg : 0,104    |  |               |  |
| ANCHORAGE      | 31 Kg     |         | 8 Kg      |              | 4 Kg              | 4 Kg               | - : -            | 4 Kg : -         | 8 Kg : -         |  |               |  |
| MARSEILLE      | 56 Kg     |         | 14 Kg     |              | En B 707<br>14 Kg | En B 707<br>14 Kg  | 5 Kg : -         | 7 Kg : -         | 14 Kg : 0,028    |  |               |  |
| MOSCOU         | 25 Kg     |         | 6 Kg      |              | 6 Kg              | 6 Kg               | - : -            | - : -            | 6 Kg : -         |  |               |  |
| ATHENES        | 417 Kg    |         | 104 Kg    |              | En B 707<br>35 Kg | En B 707<br>26 Kg  | 35 Kg : 0,070    | 52 Kg : 0,104    | 104 Kg : 0,208   |  |               |  |
| NICE           | 73 Kg     |         | 18 Kg     |              | 9 Kg              | 9 Kg               | 6 Kg : -         | 9 Kg : -         | 18 Kg : 0,036    |  |               |  |
| CASABLANCA     | 115 Kg    |         | 29 Kg     |              | 4 Kg              | 3 Kg               | 10 Kg : -        | 15 Kg : 0,030    | 29 Kg : 0,058    |  |               |  |
| NAIROBI        | 104 Kg    |         | 26 Kg     |              | 26 Kg             | 13 Kg              | - : -            | 13 Kg : 0,024    | 26 Kg : 0,052    |  |               |  |



|              | Poids net<br>moyen<br>mensuel<br>1965 | Poids net<br>moyen<br>hebdomadaire<br>1965 | Poids net par<br>service avec<br>totalité hiver<br>fréquences<br>été | Poids net par<br>service avec 3/7<br>Poids<br>Volume | Poids net par<br>service avec 2/7<br>Poids<br>Volume | Poids net par<br>service avec 1/7<br>Poids<br>Volume |
|--------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| TANANARIVE   | 208 Kg                                | 52 Kg                                      | 26 Kg<br>17 Kg                                                       | 17 Kg                                                | 0,034                                                | 26 Kg<br>0,052                                       |
| LISBONNE     | 21 Kg                                 | 5 Kg                                       | 5 Kg<br>5 Kg                                                         | -                                                    | -                                                    | 5 Kg<br>-                                            |
| BUENOS-AYRES | 94 Kg                                 | 24 Kg                                      | 12 Kg<br>12 Kg                                                       | -                                                    | -                                                    | 12 Kg<br>0,024                                       |
| LIMA         | 146 Kg                                | 37 Kg                                      | 18 Kg<br>18 Kg                                                       | -                                                    | -                                                    | 18 Kg<br>0,036                                       |
| MANILLE      | 50 Kg                                 | 13 Kg                                      | 13 Kg<br>7 Kg                                                        | -                                                    | -                                                    | 13 Kg<br>0,024                                       |
| TOKIO        | 396 Kg                                | 99 kg                                      | Pôle 50 Kg<br>Pôle 50                                                | -                                                    | -                                                    | 50 Kg<br>0,100                                       |
| LOS ANGELES  | 146 Kg                                | 37 Kg                                      | 19 Kg<br>9 Kg                                                        | 12 Kg                                                | 0,024                                                | 19 Kg<br>0,038                                       |
| CHICAGO      | 92 Kg                                 | 23 Kg                                      | 6 Kg<br>4 Kg                                                         | 8 Kg                                                 | -                                                    | 12 Kg<br>0,024                                       |
| MONTREAL     | 625 Kg                                | 156 Kg                                     | 31 Kg<br>26 Kg                                                       | 52 Kg                                                | 0,104                                                | 78 Kg<br>0,156                                       |
| MEXICO       | 459 Kg                                | 115 Kg                                     | 29 Kg<br>29 Kg                                                       | 39 Kg                                                | 0,078                                                | 58 Kg<br>0,116                                       |
|              | 5 309 Kg                              | 1 329 Kg                                   | 473 Kg<br>388 Kg                                                     |                                                      |                                                      | 1 329Kg                                              |
|              |                                       |                                            |                                                                      |                                                      |                                                      |                                                      |

d.- TYPE ET NOMBRE CONTAINERS NECESSAIRES POUR CHAQUE ESCALE HEBDOMADAIREMENT  
POIDS BRUT HEBDOMADAIRE DES EXPEDITIIONS PAR ESCALE

Carton 10h. = 12 Kg  
Carton 20h. = 17 Kg  
Container 30h. = 30 Kg

|                | Nombre<br>rations<br>par mois<br>1965 | Nombre<br>rations<br>hebdomadaires<br>1965 | Poids net<br>expéditions<br>hebdomadaires | Containers<br>ou Cartons<br>carbo 10h. | Containers<br>ou Cartons<br>carbo 20h. | Containers<br>30h. | Poids<br>des<br>Containers | Poids<br>brut<br>expéditions<br>hebdomadaires |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|
| RIO DE JANEIRO | 1058                                  | 265                                        | 66 Kg                                     | -                                      | -                                      | 1                  | 30                         | 96 Kg                                         |
| POINTE-à-PITRE | 1404                                  | 351                                        | 88 Kg                                     | -                                      | -                                      | 1                  | 30                         | 96 Kg                                         |
| DAKAR          | 1667                                  | 417                                        | 104 Kg                                    | 4                                      | -                                      | -                  | 48                         | 152 Kg                                        |
| BANGKOK        | 1700                                  | 425                                        | 106 Kg                                    | -                                      | -                                      | 2                  | 60                         | 166 Kg                                        |
| TEHERAN        | 934                                   | 234                                        | 59 Kg                                     | 2                                      | -                                      | -                  | 24                         | 83 Kg                                         |
| TEL AVIV       | 750                                   | 188                                        | 47 Kg                                     | 2                                      | -                                      | -                  | 24                         | 71 Kg                                         |
| HONG KONG      | 650                                   | 163                                        | 41 Kg                                     | -                                      | -                                      | 1                  | 30                         | 71 Kg                                         |
| ALGER          | 833                                   | 208                                        | 52 Kg                                     | 2                                      | -                                      | -                  | 24                         | 76 Kg                                         |



|              | :Nombre<br>:rations<br>:par mois<br>: 1965 | :Nombre<br>:rations<br>:hebdomadaires<br>: 1965 | :Poids net<br>:expéditions<br>:hebdomadaires | :Containers<br>:ou Cartons<br>:carbo 10h. | :Containers<br>:ou Cartons<br>:carbo 20h. | :Containers<br>: 30h. | :Poids<br>:des<br>:Containers | :Poids<br>:brut<br>:expéditions<br>:hebdomadaires |  |  |
|--------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|--|--|
| ANCHORAGE    | 125                                        | 31                                              | 8 Kg                                         | 1                                         | -                                         | -                     | 12                            | 20 Kg                                             |  |  |
| MARSEILLE    | 225                                        | 56                                              | 14 Kg                                        | 1                                         | -                                         | -                     | 12                            | 26 Kg                                             |  |  |
| MOSCOU       | 100                                        | 25                                              | 6 Kg                                         | 1                                         | -                                         | -                     | 12                            | 18 Kg                                             |  |  |
| ATHENES      | 1 667                                      | 417                                             | 104 Kg                                       | 4                                         | -                                         | -                     | 48                            | 152 Kg                                            |  |  |
| NICE         | 292                                        | 73                                              | 18 Kg                                        | 1                                         | -                                         | -                     | 12                            | 30 Kg                                             |  |  |
| CASABLANCA   | 458                                        | 115                                             | 29 Kg                                        | 1                                         | -                                         | -                     | 12                            | 41 Kg                                             |  |  |
| NAIROBI      | 417                                        | 104                                             | 26 Kg                                        | -                                         | 1                                         | -                     | 17                            | 43 Kg                                             |  |  |
| TANANARIVE   | 833                                        | 208                                             | 52 Kg                                        | -                                         | -                                         | 1                     | 30                            | 82 Kg                                             |  |  |
| LISBONNE     | 84                                         | 21                                              | 5 Kg                                         | 1                                         | -                                         | -                     | 12                            | 17 Kg                                             |  |  |
| BUENOS AYRES | 375                                        | 94                                              | 24 Kg                                        | -                                         | -                                         | 1                     | 30                            | 54 Kg                                             |  |  |
| LIMA         | 584                                        | 146                                             | 37 Kg                                        | -                                         | -                                         | 1                     | 30                            | 67 Kg                                             |  |  |
| MANILLE      | 200                                        | 50                                              | 13 Kg                                        | -                                         | -                                         | 1                     | 30                            | 43 Kg                                             |  |  |
| TOKYO        | 1 584                                      | 396                                             | 99 kg                                        | -                                         | -                                         | 2                     | 60                            | 159 Kg                                            |  |  |
| LOS ANGELES  | 584                                        | 146                                             | 37 Kg                                        | -                                         | 2                                         | -                     | 34                            | 71 Kg                                             |  |  |
| CHICAGO      | 367                                        | 92                                              | 23 Kg                                        | -                                         | 1                                         | -                     | 17                            | 40 Kg                                             |  |  |
| MONTREAL     | 2 500                                      | 625                                             | 156 Kg                                       | 6                                         | -                                         | -                     | 102                           | 258 Kg                                            |  |  |
| MEXICO       | 1 834                                      | 458                                             | 115 Kg                                       | -                                         | 5                                         | -                     | 85                            | 200 Kg                                            |  |  |
|              | 21 225                                     | 5 308                                           | 1 329 Kg                                     |                                           |                                           |                       |                               |                                                   |  |  |

.../



## 2°.- La procédure

Cette procédure apparaîtra détaillée dans une instruction, mais nous n'en rappellerons ici que les grandes lignes.

### a) Consignes aux escales pour le retour des containers

L'expédition devra se faire, de préférence par la formule des "envois à découvert" sous bordereau spécial de chargement (B.S.C.).

### b) Formalités douanières à ORLY

Trois cas peuvent se présenter :

- escales admettant la réception de colis par la formule des "envois à découvert" :  
il sera établi un bordereau d'expédition inter-services qui justifiera le transport et la sortie de marchandises sur le plan douanier,
- escales exigeant un "manifeste" d'expédition :  
il sera établi une lettre de transport aérien (LTA),
- escales n'autorisant pas l'importation de produits surgelés :  
c'est le cas de l'escale de LOS ANGELES où le Ministère de l'Agriculture (USDA) interdit l'importation même temporaire de viandes et volailles surgelées, mais autorise l'importation de plats cuisinés surgelés préparés avec des poissons.

La réglementation de l'escale de CHICAGO est différente puisqu'elle autorise le transit de plats cuisinés surgelés.

### c) Autres formalités

Nous pouvons les énumérer ainsi :

- un message d'avis de départ devra être rédigé et adressé aux Services compétents de l'aéroport d'ORLY et des escales intéressées,
- il existe une heure d'enregistrement qui peut être différente suivant les escales intéressées,
- des consignes seront notifiées aux escales pour les dispositions à prendre en cas d'immobilisation de l'avion au sol.

## E.- LE RECHAUFFAGE

Comme nous l'avons indiqué à la page 71, le réchauffage sera effectué de la manière suivante :

### - Dégel

- o Dégel en température ambiante dans les escales de climat tempéré.
- o Dégel en ambiance réfrigérée dans les escales de climat chaud et humide.
- o Dégel forcé dans des fours classiques ou dans des armoires chauffantes type CARAVELLE, seulement dans les cas d'ajustement du nombre de passagers en dernière heure.

### - Réchauffage proprement dit

- o pour les CARAVELLE, un réchauffage modéré sera effectué au sol dans des fours classiques, les plats étant ensuite maintenus en température jusqu'à la consommation dans les armoires chauffantes actuellement en service.

.../



Dans le cas particulier où il n'y aura pas utilisation des armoires chauffantes pendant le vol aller, les plats seront dégelés et réchauffés au sol dans des fours classiques, puis embarqués dans les armoires chauffantes et maintenus en température jusqu'au service du vol retour.

- pour les BOEING, il faut réaliser les équipements supplémentaires suivants :
  - des extracteurs étanches (16 par avion) pour effectuer un réchauffage en ambiance humide.
  - un infra grill (voir Figure 40) pour les fours situés dans le galley avant, destiné au réchauffage des grillades de viandes rouges pour le service des passagers de 1ère Classe (voir page 71).

.../



## CONCLUSIONS GENERALES

Cette étude, concernant une méthode particulière de surgélation appliquée à la restauration aérienne, apporte un certain nombre de faits nouveaux en la matière :

. Nous avons montré, en laboratoire, que les températures employées pour la surgélation des produits alimentaires étaient insuffisantes pour la surgélation des plats cuisinés, et qu'il fallait travailler à des températures beaucoup plus basses :

- 70° C à la congélation,
- 50° C à la conservation.

. Nous avons conçu et mis en oeuvre une chaîne expérimentale qui nous a permis :

- de mettre au point une technique particulière adaptée aux plats cuisinés pendant les phases de :
  - congélation
  - conservation
  - transport
  - réchauffage
- de contrôler les conclusions théoriques dégagées en laboratoire par des tests organoleptiques qui ont montré :
  - . que la température de - 70°C à la congélation était suffisante dans tous les cas,
  - . que la température de - 50°C donnait de bien meilleurs résultats que la température classique de - 18°C (0° Fahrenheit) pendant la conservation,
  - . que l'ambiance neutre était un facteur aussi important que les basses températures pendant la conservation,
  - . que certains plats surgelés ont été jugés meilleurs que les plats frais dans les conditions actuelles du service à bord dans les avions,
  - . que dans tous les cas, nous ne courrons aucun risque sur le plan qualité en substituant le service d'armement et de ravitaillement hôtelier d'Orly

.../



aux traiteurs d'escales, pour les plats cuisinés chauds,  
pour les viandes rôties froides.

En troisième lieu, forts des enseignements acquis avec la chaîne expérimentale, nous avons conçu et nous allons réaliser une chaîne d'exploitation capable d'approvisionner une quinzaine d'escales représentant 140 000 rations par an dans une première phase.

Si cette chaîne d'exploitation donne entière satisfaction, toutes les escales du réseau seront progressivement approvisionnées dans une deuxième, puis une troisième phase.

De l'exploitation de la surgélation, trois faits économiques méritent d'être soulignés :

- Des premiers bilans financiers prévisionnels établis pour la 1<sup>re</sup> phase d'exploitation, il ressort que le coût de la surgélation à l'azote liquide par ration individuelle est plus élevé que ne serait le coût d'une surgélation classique par compression : 0,78 F pour la méthode de surgélation à l'azote liquide contre 0,38 F pour une méthode de surgélation classique par compression dans les mêmes conditions d'exploitation.

Toutefois le coût de la surgélation à l'azote liquide ne représente que 15 % environ de la valeur des matières premières rentrant dans la composition d'un plat cuisiné, soit 10 % environ de la valeur de ce plat cuisiné après incorporation des frais généraux.

- En contrepartie, la méthode de surgélation à l'azote liquide que nous proposons présente deux aspects positifs très importants :

- . sur le plan qualité, elle nous donne une assurance

- de basses températures,
    - d'ambiance neutre

- . sur le plan de l'exploitation, elle se révèle d'une grande souplesse :

- à la congélation en absorbant les pointes de production par l'utilisation exclusive d'azote liquide,
    - à la conservation, puisqu'il sera possible de jouer sur la température de chacun des compartiments de la chambre, et dans de grandes limites, par un simple réglage de thermostats.

- Enfin, il apparaît qu'une fourniture exclusive de plats cuisinés et viandes froides surgelés par le Service d'Armement et de Ravitaillement Hôtelier remplaçant une fourniture des traiteurs fait apparaître, en prenant comme références le programme d'exploitation d'AIR FRANCE en 1965 et les mercuriales de 1963, une économie de :

- 442 000 F dans la première phase,
    - 790 000 F dans la deuxième phase,
    - 880 000 F dans la troisième phase,

cette économie représentant une réduction des frais généraux du Service d'Armement et de Ravitaillement Hôtelier de :

- 6 % dans la 1<sup>re</sup> phase
    - 7,5 % dans la 2<sup>me</sup> phase
    - 10,5 % dans la 3<sup>me</sup> phase

ORLY, le 29 avril 1964



## TABLE DES FIGURES

|                                                                                             |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| - FIGURE 1 - Montage expérimental des mesures de résistivité .....                          | Page 9      |
| - FIGURE 2 - Courbe de résistivité - coq au vin - .....                                     | Page 10     |
| - FIGURE 3 - Montage expérimental des mesures d'analyse thermique différentielle .....      | Page 9      |
| - FIGURE 4 - Courbe d'analyse thermique différentielle .....                                | Page 11     |
| - FIGURE 5 - Courbe d'analyse thermique différentielle .....                                | Page 11     |
| - FIGURE 6 - Courbe d'analyse thermique différentielle .....                                | Page 13     |
| - FIGURE 7 - Courbe d'analyse thermique différentielle .....                                | Page 13     |
| - FIGURE 8 - Implantation des équipements expérimentaux .....                               | Page 16     |
| - FIGURE 8bis- Schéma des circuits azote .....                                              | Page 17     |
| - FIGURE 9 - Le potentiomètre enregistreur MECI .....                                       | Page 19     |
| - FIGURE 10 - Le galvanomètre SEFRAM et le boîtier de mesure .....                          | Page 19     |
| - FIGURE 11 - Circuits électriques du congélateur .....                                     | Page 23     |
| - FIGURE 11bis Vue générale du congélateur .....                                            | Page 21     |
| - FIGURE 12 - Vue en plan du congélateur .....                                              | Page 23     |
| - FIGURE 12bis L'enceinte froide du congélateur .....                                       | Page 21     |
| - FIGURE 13 - Courbe des débits d'azote liquide .....                                       | Page 26     |
| - FIGURE 14 - Température d'évaporation du Fréon 22 .....                                   | Page 28     |
| - FIGURE 15 - Puissance frigorifique du congélateur .....                                   | Page 28     |
| - FIGURE 16 - Courbe de congélation .....                                                   | Page 30     |
| - FIGURE 17 - Localisation des casselettes dans le panier .....                             | Page 32     |
| - FIGURE 18 - Localisation des casselettes sur chaque plateau .....                         | Page 33     |
| - FIGURE 19 - Courbe de congélation .....                                                   | Page 34     |
| - FIGURE 20 - Emplacement des sondes de température .....                                   | Page 36     |
| - FIGURE 21 - Courbe de congélation .....                                                   | Page 37     |
| - FIGURE 22 - Courbe de congélation .....                                                   | Page 38     |
| - FIGURE 23 - Courbe de congélation .....                                                   | Page 39     |
| - FIGURE 24 - Vue générale des conservateurs .....                                          | Page 41     |
| - FIGURE 24bis Vue générale du container AF II .....                                        | Page 41     |
| - FIGURE 25 - Variations de températures dans le conservateur à - 50° C .....               | Page 44     |
| - FIGURE 26 - Variations de températures dans le conservateur à - 18° C .....               | Page 46     |
| - FIGURE 27 - Variations de températures en fonction de la localisation des produits .....  | Page 47     |
| - FIGURE 28 - Ventilation et suppression des relais temporisés dans les conservateurs ..... | Page 47 bis |
| - FIGURE 29 - Schéma des containers .....                                                   | Page 55     |
| - FIGURE 30 - Evolution thermique d'un carton avec ou sans carboglace .....                 | Page 57     |
| - FIGURE 31 - Evolution thermique de containers en polystyrène expansé .....                | Page 58     |
| - FIGURE 32 - Evolution thermique des containers DAGARD, FOURNEY, AF II .....               | Page 59     |
| - FIGURE 34 - Montage de l'installation réalisée sur le BOEING BHSF .....                   | Page 64     |
| - FIGURE 35 - Evolution thermique d'un container sur le parcours PARIS/BANGKOK .....        | Page 66     |
| - FIGURE 36 - Evolution du degré hygrométrique en cabine sur le parcours PARIS/RIO .....    | Page 69     |
| - FIGURE 37 - Schémas des fours électroniques .....                                         | Page 74     |
| - FIGURE 38 - Temps de réchauffage dans les fours électroniques .....                       | Page 77     |
| - FIGURE 39 - Four BOEING - vue générale - .....                                            | Page 78     |
| - FIGURE 40 - Four BOEING - montage de l'infra-grill .....                                  | Page 78     |
| - FIGURE 41 - Cycle récapitulatif de la surgélation .....                                   | Page 83     |
| - FIGURE 42 - Implantation de la chaîne d'exploitation .....                                | Page 101    |

-----



## B I B L I O G R A P H I E

### Ouvrages cités

REY L.R et Collaborateurs - 1960 -  
 Traité de Lyophilisation - 20.38 -  
 Hermann - Paris

REY - DHAUSSY, M. et REY L.R - 1957 -  
 Propagation de la cristallisation dans l'eau de  
 surfusion - I. Chim. Phys. 54 - 146-148

L. REY - 1960 - Conservation de la vie par le froid  
 Hermann - Paris

VUILLARD G - 1957 - Contribution à l'étude de l'état  
 vitreux et de la cristallisation des solutions  
 aqueuses - Ann. Ch. 13<sup>e</sup> série, 2, 233-297

MECI - Enregistreurs électroniques Speedomax

JACQMAIN D. - Revue des fermentations et des indus-  
 tries alimentaires - Bruxelles - T XVI n° 5

MONCRIEFF R.W. - 1946 - The Chemical senses - P. 78  
 J. Wiley and sons - New-York

Ouvrages consultés

LAROUSSE gastronomique - 1963 - Paris

ESCOFFIER - 1921 - Le Guide Culinaire - Flammarion -  
 Paris

Une théorie sur la formation des cristaux de glace  
 H.K. Weickmann Arch. Meteor-Geophys. Bioklimatol,  
 Austr. - 1951 - PP 309-323 251

Structure et propriétés de la glace. N. Bjerrum,  
 Chem. Indus., R.U. (n° 12 - 1952), P. 266 250

Concentration de solutions par le froid  
 J. Schmidt - Kältetechnik, All - Juin 1952 -  
 P. 140 7

Mesure de la température - E.J. Burton et D.J. Weeks  
 J. Inst. Fuel, R.U. - 1953 - 26, n° 154, PP. 260-273  
 tabl., bibl., Réf. 1975

Transmission de chaleur, E.R.G. Eckert - J.P. Hartnett  
 et H.S. Isbin Indus Engg Chem., USA - mars 1955 -  
 PP. 647-658 2804

Transmission de chaleur. Notions fondamentales  
 E.R.G. Eckert, J.P. Hartnett et T.F. Irvine - Indus.  
 Engg Chem., U.S.A - mars 1958 - 50, n° 3, 2<sup>me</sup> partie,  
 pp. 543-554, 3 fig., 1 tabl. 6151

Essais et comparaison de petits compresseurs frigo-  
 rifiques. H.M. Meacock - Mod. Refrign, R.U -  
 janv. 1953 - n° 658, pp. 6-7 603

Nouveaux isolants dans les applications frigorifiques.  
 B. del Nunzio - Rapport présenté au 2<sup>me</sup> Congrès Natio-  
 nal du Froid, Padoue - 15-17 juin 1953 - 1650

Les points faibles thermiques ou ponts thermiques -  
 J. Berthier - Cahiers Centre Sci. Techn. Bâtiment,  
 Fr. - Fév. 1960 - cahier 334, n° 42, 36 p., 40 fig., 5  
 tabl. 9 Réf 8436

Mousse de polystyrène expansée. E.A. Edberg Refrigg  
 Engg, U.S.A. - mars 1957 - 65, n° 3, pp. 54-57,  
 4 fig. 4826

Procédé de congélation continue par immersion.  
 F.K. Lawler - Food Engg, U.S.A. - juin 1955 - pp. 68-70,  
 241, 8 fig 2984

Le premier congélateur à azote liquide adapté à la  
 chaîne de production. Quick fzn Foods, U.S.A. -  
 juin 1960 - 22, n° 11, pp. 31, 157, 158, 1 fig. 9004

Containers isothermes (A.F. et A.F.X.). Containers,  
 Internat. - juin 1955 - 7, n° 13 - p. 22, 2 fig 3293

Le calcul des containers isolés pour denrées congelées  
 (Die Berechnung isolierter Behälter für Tiefkühlgüter)  
 K. Wiedemann - Kälte, All. - sept. 1957 - 10, n° 9,  
 pp. 320-326, 1 diag. 5431

Développements techniques récents dans le domaine de la  
 congélation des aliments. M.A. Joslyn. Quick Fzn Foods,  
 U.S.A. - mars 1954 - pp. 195, 270-274 1525

.../



Théorie de la formation des cristaux pendant la congélation des produits alimentaires - G. Tchizkov.  
Holod. Tech. U.R.S.S - oct. - déc. 1953 - 30, n° 4, pp. 53-55 1738

Conditions rationnelles de transmission de chaleur au moment de la congélation des denrées alimentaires.  
G. Tchikov Holod. Tehn., U.R.S.S. - janv. - mars 1955 n° 1, pp. 27-30, 2 tabl. 3095

Le monosodium glutamate dans les denrées congelées.  
K.B. Norton - D.K. Tressler, L.D. Farkas - Food Technol., U.S.A - nov. 1952 - pp. 405-411, 3 tabl. 8 réf. 349

Cuisson des viandes, volailles, gibier et poisson congelés. F. Fenton, Cornell Extension Bull. 906, U.S.A. - févr. 1954 - 16 p. 1764

Indicateur de décongélation pour les aliments congelés.  
Anon. Packag Parade, U.S.A.- avril 1954 - 22 n° 255, p. 62 2042

L'influence de la température et de la durée de stockage sur l'altération des produits alimentaires au cours de la conservation à l'état congelé (Der Einfluss der Temperatur und Lagerdauer auf die Gefrierlagerveränderungen von Lebensmitteln). J. Kuprianoff - Kältetechnik, All. - mars 1956 - 8, n° 3, pp. 102-107, 8 fig. 1 tabl. 4005

Changements physiques et biochimiques des denrées alimentaires congelées. J. Kuprianoff - Bull. I.I.F., - 1960 - n° 3, pp. 775-790 8578

Problèmes microbiologiques des produits alimentaires congelés. G. Borgström - Advanc. Food Res., U.S.A. - 1955 - 6, pp. 163-230 4530

La conservation des denrées périssables par irradiation. P. Vidal, A. Godard et L. Roussel - Rev. gén. Froid, Fr. - Oct. 1956 - 33, n° 10, pp. 1051-1055, 2 fig. 4529

Les plats cuisinés congelés. P. Clément. Rev. gén. Froid, (FR. - août 1952 - pp. 787-797, 5 Fig., 1 tabl. 384

Aliments cuisinés congelés, publié par le Quarter-master food and container Institute for the Armed Forces, Chicago (déc. 1955), 76 pp., 2 fig., 18 tabl., réf. 3746

Tolérance température-durée des aliments congelés. V. stabilité de la texture des plats cuisinés congelés influencée par leur composition et les conditions de conservation. H.L. Hanson, L.R. Fletcher et A.A. Campbell, Food Technol. U.S.A. - juin 1957 - 11, n° 6 pp. 339-343, 1 fig., 6 tabl. 14 réf. 5307



DEUXIEME THESE

PROPOSITIONS DONNEES PAR LA FACULTE

-----

ETAT ACTUEL ET EVOLUTION DU MARCHÉ  
de la VIANDE aux U.S.A.

Vu et approuvé :

Le Doyen de la Faculté des Sciences,  
R. CIRY

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur  
Marcel BOUCHARD





